Après les 12èmes Rencontres Scientifiques...

Actualité des recherches en didactique des sciences et des technologies

sous la direction de Lionel Pélissier et Patrice Venturini

Toulouse 2022

Aux éditions de l'ARDiST

Après les 10e Rencontres scientifiques - Saint Malo, 2018 ; Actualité de la recherche en didactique des sciences et des technologies. Direction Jean-Marie Boilevin et Alain Jameau. (https://ardist.org/wp-content/uploads/2021/04/ARDIST_2018.pdf)

© Editions de l'ARDIST

Numéro ISBN : 978-2-9577091-1-3

Numéro EAN : 9782957709113

Année 2024

Conception graphique de couverture : © Benoît Colas - Université Toulouse -Jean Jaurès / CPRS-DAR.

Table des matières

Table des matières 3

Introduction 7

Partie 1 : Regards sur les communications du Week-End Jeunes Chercheurs 11

Les activités du WEJCH comme reflet des orientations actuelles de recherche en didactique des sciences et de la technologie dans la francophonie 13

Morin Olivier, Groleau Audrey

Partie 2 : Symposium « Analyse des pratiques langagières. Comparaison des cadres théoriques et méthodologiques en didactique des SVT » 23

Analyse des pratiques langagières. Comparaison des cadres théoriques et méthodologiques en didactique des SVT 25

Marlot Corinne, Lhoste Yann

Travailler des problèmes évolutifs avec des lycéens : une analyse comparée de récits et de textes argumentatifs 33

Paulin Fabienne, Bruguière Catherine, Zabel Jörg

Apport des analyses langagières à un cadre aux références essentiellement épistémologiques : le cadre de l'apprentissage par problématisation 51

Orange Christian, Orange Ravachol Denise

Comment favoriser un ancrage dans le monde scientifique chez des élèves impliqués dans une démarche d'investigation ? 71

Marzin-Janvier Patricia, Schneeberger Patricia, Seixas Mello Paula

Processus de sémiose dans un débat scientifique sur le concept d'articulation 89

Lhoste Yann, Marlot Corinne

La construction de points de vue partagés sur l'enseignement du vivant au sein d'une communauté discursive de pratiques professionnelles..... 109

Roy Patrick, Marlot Corinne

De l'intérêt de l'analyse des pratiques langagières en didactique des SVT et de la mise en dialogue de cadres interprétatifs..... 133

Morin Olivier, Marlot Corinne, Lhoste Yann

Partie 3 – Symposium « Éducation au changement climatique : quelles approches didactiques ? » 143

Éducation au changement climatique : quelles approches didactiques ? 145

Marzin-Janvier Patricia, Perron Séverine

Les projets de sciences participatives à destination des élèves 155

Perron Séverine, Marzin-Janvier Patricia, Castagneyrol Bastien, Sawtschuk Jérôme

Vigie-Nature École : un « outil » au service d'une éducation à l'environnement et au développement durable ?..... 171

Turpin Sébastien, Fortin Corinne

Éduquer au changement climatique par le design fiction : une expérimentation sur la problématique des déchets en école d'ingénieur·es 191

Hervé Nicolas, Huez Julitte

Éduquer aux incertitudes climatiques 207

Chalak Hanaà, Delplancke Malou 207

Cheminement conceptuel empiriquement fondé pour comprendre le rôle du CO_2 dans le réchauffement climatique..... 223

Maron Valentin, Dufresne Jean-Louis, Pélissier Lionel, Rabier Alain, Cochepin Medhi

Eléments de synthèse du symposium « Éducation au changement climatique : quelles approches didactiques ? »..... 251

Orange Ravachol Denise, Marchal-Gaillard Valérie

Partie 4 : Pratiques d'enseignement 263

Analyse de l'action didactique conjointe lors de l'enseignement et l'étude de la grandeur concentration massique au début du secondaire tunisien 265

Mahjoub Afifa, Ben Kilani Chiraz

Approcher l'activité enseignante via un groupe de travail : exemple de l'appropriation de concepts chimiques 285

Kermen Isabelle

Construction de savoirs conceptuels en sciences 305

Blat Muriel, Boilevin Jean-Marie, Marzin-Janvier Patricia

Interactions langagières en sciences en contexte bilingue : questions, outils et méthodes de recherches 323

Mehdi Fatme, Zaid Abdelkarim, Boyer Catherine

Partie 5 : Construction des savoirs, références pour l'enseignement, formation 343

Proposition didactique pour la construction du concept physique de volume en cycle 3 et son expérimentation avec deux élèves 345

Javoy Sandra

Le dessin pour développer l'observation et la réflexion des élèves de maternelle 369

Chalmeau Raphaël, Lafitole Monique, Mourgues Sophie, Ramos Beato Maéva, Bergamaschi Gabrielle, Mortelecque Lucile

Questionner les représentations de la forêt et les expériences de nature chez des élèves de cycle 3 391

Léna Jean-Yves, Chalmeau Raphaël, Julien Marie-Pierre

Modélisation : analyse de textes institutionnels dans le cas des transformations chimiques 413

Bouard Rémi, Canac Sophie, Kermen Isabelle

École du dehors et apprentissages … en Sciences 431

Daro Sabine, Bovy Emilie, Yernaux Dominique, Hindryckx Marie-Noëlle

Médiation pour l'enseignement scientifique. Dans quelles conditions une formation menée par des chercheurs peut-elle répondre aux attentes et aux besoins des enseignants ? 447

Courdent Albine, Decroix Anne-Amandine et Mimoune Mehdi

Partie 6 : Educations à, Questions socialement vives 463

Expériences et éducation au développement durable 465

Barroudi Aicha

Les enseignants français de SVT face au devoir de neutralité lors de l'enseignement de la théorie de l'évolution 487

Germann Benjamin, Panissal Nathalie

Environmental awareness and controversy mapping on excessive meat production and consumption. 507

Cruz-Lorite Isabel María, Hervé Nicolas, Cebrián-Robles Daniel, Acebal-Expósito María del Carmen

Liste des relecteurs des différents chapitres 527

Index des auteurs 531

Introduction

En 2021, l'ARDiST a fait le choix d'éditer en son nom propre une série d'ouvrages intitulée « Après les Rencontres… ». Cet ouvrage est le second dans cette série après celui qui a fait suite aux Rencontres de Saint Malo en 2018[1]. Son contenu répond aux mêmes principes : les auteurs ayant communiqué leurs travaux lors des rencontres scientifiques de l'ARDiST peuvent soumettre, s'ils le souhaitent, un texte plus long et détaillé, texte soumis à une évaluation par les pairs avant une éventuelle publication.

« *Après les 12e Rencontres…* » réunit ainsi 28 textes (sur 32 propositions soumises). Vingt-trois d'entre eux ont fait l'objet d'une expertise à la fois par un membre du comité scientifique des Rencontres de Toulouse, un membre de notre communauté extérieur à ce comité scientifique, et ensuite par l'un ou les deux directeurs de cet ouvrage. Les cinq autres (introduction et conclusion de chaque symposium, texte constituant la 1er partie) n'ont été relus que par les deux directeurs de cet ouvrage. La liste des expertes et experts sollicités figure en fin de livre. Nous les remercions toutes et tous chaleureusement pour le travail qu'elles et ils ont effectué, lequel a contribué à augmenter significativement la qualité des textes retenus.

Ces textes (auxquels il est possible d'accéder directement en cliquant sur leur titre dans la table des matières de l'ouvrage) ont été regroupés au sein de cinq grandes parties :

[1] Les rencontres de Bruxelles de 2020 se sont déroulées à distance en raison de la pandémie et ont fait l'objet d'actes disponibles à : https://ardist2020.sciencesconf.org/data/pages/ACTES_LAST.pdf

- La première d'entre elles concerne le regard porté par les encadrants du week-end « Jeunes chercheurs[2] » (WEJCh) sur les communications des doctorants ou néo-docteurs discutées lors de ce séminaire.
- Les deux suivantes réunissent respectivement des travaux présentés lors des deux symposiums proposés aux participants des 12e rencontres : « Analyse des pratiques langagières. Comparaison des cadres théoriques et méthodologiques en didactique des SVT » et « Éducation au changement climatique : quelles approches didactiques ? ». Les deux thématiques, l'une classique et l'autre relevant de l'actualité, sont documentées via cinq chapitres, précédés à chaque fois d'un texte de présentation. Les études correspondantes sont chacune discutées dans un texte conclusif.
- Une quatrième partie réunit des études relatives aux pratiques d'enseignement. Si les approches sont différentes, les recherches présentées ici concernent toutes la description des interactions didactiques en classe.
- La cinquième pbvartie, plus hétérogène, regroupe des travaux relatifs à la construction des savoirs, à la formalisation de références pour l'enseignement ou encore à la formation des enseignants.
- Enfin, la dernière est dédiée à des recherches relevant de l'éducation au développement durable et des questions socialement vives.

Si les communications des symposiums sont bien représentées dans l'ouvrage (10 textes longs sur 12 communications orales auxquelles s'ajoutent les deux bilans des discussions), c'est moins le cas des communications isolées (13 textes sur 59 communications effectuées). Aussi cet ouvrage ne saurait refléter toutes les orientations des recherches actuelles en

[2] Le WEJCh 2022 (https://ardist2022.sciencesconf.org/resource/page/id/5) s'est déroulé le week-end précédant les Rencontres de Toulouse

didactique des sciences et des technologies[3]. Toutefois, on y retrouve certaines des tendances générales observées à Toulouse. Ainsi, l'analyse de pratiques d'enseignement, souvent à partir de leur dimension langagière et la prise en compte didactique du changement climatique y tiennent une place significative. A l'inverse, aucune étude relevant de la didactique de la technologie n'est incluse dans cet ouvrage, et une seule concerne la formation des enseignants.

Enfin, nous remercions les chercheures et chercheurs qui ont choisi de formaliser ici leurs travaux ainsi que les deux encadrants du WeJCh pour leurs analyses des communications qui leur ont été présentées. Notre communauté leur doit l'existence de cet ouvrage qui matérialise une étape de son histoire scientifique.

Bonne lecture !

Décembre 2023

[3] Voir pour cela les Actes des 12e Rencontres Scientifiques, accessibles à l'adresse suivante : https://ardist2022.sciencesconf.org/data/pages/Actes_12e_Rencontres_ARDIST_1.pdf

Partie 1 : Regards sur les communications du Week-End Jeunes Chercheurs

Les activités du WEJCH comme reflet des orientations actuelles de recherche en didactique des sciences et de la technologie dans la francophonie

Morin Olivier [(1)], Groleau Audrey [(2)]
[(1)] Univ Lyon, UCBL Lyon 1, Laboratoire S2HEP (Sciences et Sociétés : Historicité, Education et Pratiques (UR4148), F-69622, Lyon, France
[(2)] Université du Québec à Trois-Rivières – Canada

Résumé

Le weekend des jeunes chercheurs (WEJCH) de l'ARDiST est une occasion pour les doctorantes et les doctorants de didactique des sciences et de la technologie de présenter leurs travaux de recherche et de les enrichir par l'entremise de discussions avec d'autres jeunes chercheurs et avec une équipe d'encadrement (dont nous avons été membres). Pour nous, qui avons pu assister à l'ensemble de l'évènement de l'édition de 2022, il s'agissait d'un moment tout indiqué pour poser un regard sur les orientations actuelles de la recherche dans notre domaine. Dans ce texte, nous faisons d'abord un tour d'horizon des recherches des jeunes chercheurs et des jeunes chercheuses qui ont participé à l'évènement, puis nous repérons ce qui les rattachent aux travaux développés dans le champ au cours des dernières années, les grandes tendances que nous avons pu observer ainsi que les idées nouvelles qui nous semblent émerger de leurs propos.

Le WEJCH est une réunion de contributions qui éclairent, par une pluralité d'entrées, la diversité des questions traversant l'actualité de la didactique des sciences et de la technologie et la façon dont elle est prise en charge par les jeunes chercheurs et chercheuses francophones. À l'automne 2022, nous avons eu l'occasion d'être les encadreurs du WEJCH et, par la même occasion, d'être témoins privilégiés des orientations des recherches des didacticiens et didacticiennes des sciences en formation[4]. Dans ce texte, nous nous proposons d'identifier les convergences des présentations avec les orientations identifiées dans le Dossier de veille de l'Institut français de l'éducation, ainsi que les spécificités des objets investis et des méthodologies mises en œuvre. Reverdy (2018) repère trois orientations majeures des recherches en didactique pour l'éducation scientifique et technologique : « comprendre les difficultés des élèves en sciences et y remédier » (p. 2), « [prendre] en compte les contextes scolaires » (p. 11) et « penser les relations entre sciences, technologies et société » (p. 21). Elle analyse les approches de la démarche d'investigation sous l'angle de la combinaison d'un enseignement des sciences et des technologies visant la formation de futurs et futures scientifiques dotés d'un regard critique sur leurs propres pratiques et d'une éducation scientifique permettant aux élèves d'avoir conscience des enjeux scientifiques en tant que citoyens et citoyennes.

Vue d'ensemble sur les communications

Deux entrées thématiques de problématisation pour structurer les communications des jeunes chercheurs avaient été proposées : i) questions de recherche et de méthodologies dans vos travaux de recherche ou ii) quelles perspectives d'interaction sciences et société dans vos recherches. Dans les prochains paragraphes, nous brossons un portrait des dix communications qui nous ont été présentées tout au long de l'évènement.

[4] Amélie Lipp, Nadia Cancian et Raphaël Chalmeau étaient les membres du comité organisateur de l'évènement. Nous les remercions de leur travail d'organisation et de planification, mais aussi de la richesse de leurs interventions tout au long de l'évènement.

Des communications qui portent sur les conditions de mise en œuvre et la pratique de l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation

La moitié (cinq sur dix) des présentations a été explicitement orientée vers les conditions de mise en œuvre et la pratique de l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation. Prenant acte du rôle actif des élèves dans les apprentissages démontrés par les travaux en didactique des sciences dès ses origines dans les années 1980, les projets de thèse présentés au WEJCH explorent la diversité des pratiques enseignantes dans la mise en œuvre des démarches d'investigation dans la lignée des recherches actuelles reconnaissant l'efficacité d'une telle diversité au-delà d'une démarche standardisée. Ces contributions rendent compte de multiples focales sur les modalités d'accompagnement par les enseignants de démarches qui s'élaborent en classe.

Entre ainsi en jeu la gestion de la recevabilité des hypothèses en classe de sciences. Claudia Küll l'aborde avec l'analyse didactique des hypothèses des élèves via l'expérimentation, en formation continue d'enseignants et d'enseignantes du premier degré, d'un logiciel de simulation de gestion de situations de classe, en sciences de la vie à propos de la circulation du sang dans le cas spécifique de sa thèse.

Claire Faidit interroge quant à elle la participation des élèves à l'évaluation de la recevabilité des hypothèses en questionnant, en formation initiale d'enseignants du premier degré, les conditions de validité didactique d'une grille d'autoévaluation d'hypothèses (à propos de la colonisation des milieux par les végétaux) élaborée par des enseignants et enseignantes débutants.

La mise en œuvre de stratégies visant au développement de la pensée critique est également représentée dans les travaux des doctorants et des doctorantes. Jérôme Kariger analyse, à l'aide d'un test standardisé de la pensée critique, les impacts de pauses métacognitives à différents moments (production d'hypothèses, recherche et observations, interprétation de données) de séquences d'investigation (à propos de la physique des fluides) conduites avec des élèves de 14 et 15 ans.

Avec la présentation de Joseph Prince Kpokplingo-Ukoyambass sur l'analyse de la mise en place d'activités expérimentales en classe de collège en Centrafrique, c'est la question de la mise en relation du monde des objets et des phénomènes, d'une part, et du monde des théories et concepts, d'autre part, qui a été abordée, en mettant les approches didactiques à l'épreuve de conditions particulièrement difficiles. Sa recherche porte sur l'activité

d'enseignants avec des élèves de 3e lors de séances sur l'intensité du courant électrique en quasi-absence de matériel et avec des effectifs pléthoriques. Il interroge ainsi les modalités de confrontation des modèles de sciences physiques à la réalité des phénomènes dans un contexte où les manipulations sont faites prioritairement par l'enseignant.

La diversité des pratiques est appréhendée par Muriel Blat sous l'angle des reconstructions de dynamiques intentionnelles d'enseignants chevronnés faisant face aux imprévus de l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation liés aux interactions entre pairs. Elle analyse les régulations et ajustements qu'ils élaborent dans des situations ordinaires à l'école élémentaire française, dans une approche croisant la didactique des sciences et de la technologie et la didactique professionnelle, afin d'expliciter leur logique d'action et leur système de décision.

En mettant l'accent sur les situations d'accompagnement à la construction de raisonnements scientifiques, ces présentations questionnent en particulier la façon dont les élèves sont associés à la recherche de validité de leurs productions mutuelles au cours de la démarche. Elles s'inscrivent ainsi dans la filiation des travaux sur l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation. Il apparaît aussi que, dans ces cinq présentations, l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation porte sur des savoirs stabilisés par la communauté scientifique. En examinant dans quelle mesure les modalités de la remise en question de ces savoirs par les communautés d'élèves favorisent les apprentissages, ces études ont toute leur pertinence dans l'orientation des recherches en didactique des sciences identifiée par Reverdy en 2018, mais s'intéressent davantage à la problématisation scientifique des objets d'enseignement de sciences qu'aux interactions sciences-société dans une visée d'éducation citoyenne aux enjeux de l'actualité.

Des communications qui s'intéressent aux difficultés d'élèves face à des savoirs peu intuitifs

Deux projets doctoraux ont été présentés dans la lignée des premiers travaux de didactique à propos des difficultés des élèves en sciences face à des savoirs peu intuitifs.

La recherche de Darine El Hajjar vise à documenter, par questionnaires suivis d'entrevues semi-dirigées, les attentes et représentations d'enseignants et d'enseignantes (de physique et de chimie, ces deux disciplines étant distinctes au Liban) relatives à l'autonomie d'élèves de lycée. Dans cette approche, l'autonomie n'est pas entendue au sens générique, mais bien au

sens didactique en ce qu'elle a de spécifique d'un domaine de savoirs (par exemple les phénomènes oscillatoires ou les transformations chimiques). Ainsi, en visant une comparaison avec des études françaises auprès d'enseignants et d'enseignantes de sciences physiques et chimiques et de mathématiques au collège, cette étude fera écho aux travaux sur la notion d'objectif-obstacle développés dans les années 1990 et pourra compléter et actualiser la façon dont les praticiens et les praticiennes considèrent la combinaison des dimensions épistémologiques et psychologiques des nœuds d'obstacles à l'origine de réseaux de conceptions.

Isabelle Focant s'attache elle aussi aux difficultés liées aux savoirs eux-mêmes, en se préparant à explorer les conceptions d'élèves à propos de l'épigénétique. Son projet de thèse vise à éclairer la manière dont les enseignants et enseignantes pourraient développer des approches systémiques pour aider les élèves à dépasser une vision réductionniste et déterministe de l'hérédité, pour ainsi considérer toute la complexité de l'objet.

Des communications qui adoptent une orientation renouvelée pour prendre en considération l'importance des contextes dans l'apprentissage

La prise en compte de l'importance des contextes dans les apprentissages soulignée par Reverdy (2018) fait également l'objet de projets de thèses en didactique des sciences, mais selon une orientation renouvelée.

Marine Jacq s'intéresse aux expériences de nature et à leur lien avec les apprentissages des sciences expérimentales. À partir d'entretiens semi-directifs avec des « pédagogues par la nature » (en France, en Allemagne, en Grande-Bretagne et en Irlande) et l'observation d'ateliers dans lesquels elle cherche à repérer des situations d'apprentissage, la recherche vise une modélisation du savoir enseigné autrement que via l'approche de la transposition didactique, puisqu'elle est alimentée par l'étude de situations où une place centrale est accordée au jeu libre.

Valérie Marchal-Gaillard explore quant à elle la compréhension scientifique enfantine d'un écogeste transmis au sein des familles (le compostage de déchets). Relevant que « l'analyse des idées des élèves élaborées à partir de leurs expériences quotidiennes avant tout enseignement formel est largement développée dans les recherches en didactique, […] mais les modalités de leur construction hors de la classe sont quant à elles laissées de côté », elle

enrichit l'approche des obstacles à la compréhension de concepts scientifiques par la prise en compte du contexte socio-familial dans lequel les idées enfantines se construisent.

Ainsi, tout en s'inscrivant dans la continuité des travaux sur l'importance des contextes et des interactions verbales et non verbales dans les apprentissages, ces deux présentations questionnent moins la manière dont les savoirs scientifiques sont enseignés que la manière dont les expériences singulières nourrissent la construction de concepts scientifiques.

Une communication qui examine à la fois un enseignement cherchant à mettre l'accent sur les valeurs de la communauté et une éducation aux enjeux citoyens actuels

L'approche des relations entre sciences, technologies et société décrite par Reverdy (2018) dans les travaux de didactique se traduit par les recherches à propos de la combinaison d'un enseignement permettant la compréhension des spécificités du champ des sciences et de la technologie en termes de valeurs de la communauté et de gestion des controverses, avec une éducation donnant conscience des enjeux citoyens de l'actualité scientifique.

En s'adressant à la question socialement vive des égalités de genre dans l'histoire des sciences physiques, la communication d'Air Benecchi nourrit clairement cette orientation. Iel envisage la présence d'une histoire sociale et culturelle des sciences comme condition à l'intégration de l'égalité homme-femme dans l'enseignement de physique-chimie. Via des groupes de discussion en formation initiale à propos d'activités autour de la controverse géocentrique-héliocentrique (enseignée en 1re), iel explore les représentations sociales et professionnelles des enseignantes et des enseignants de sciences physiques vis-à-vis de la place occupée par l'histoire des sciences dans leur cours. Son intention est de prendre appui sur les obstacles et leviers identifiés pour proposer des ressources et co-concevoir avec des enseignantes et des enseignants des séances permettant d'amener le genre dans la classe de physique-chimie en prenant en compte des groupes d'acteurs et d'actrices jugés jusqu'alors secondaires dans la création et la circulation des savoirs scientifiques.

Des remarques, des enjeux et des ouvertures

Dans ce qui suit, nous formulons des remarques autour des recherches dont nous avons pris connaissance pendant le Weekend des jeunes chercheurs de l'ARDiST, puis mettons en

exergue les nouvelles orientations que prennent ces chercheurs en formation et les enjeux auxquels notre communauté sera probablement confrontée au cours des prochaines années.

Nous avons remarqué, tout au long du Weekend des jeunes chercheurs, que les doctorants et les doctorantes proposent des travaux qui sont liés d'assez près aux grandes orientations de la didactique des sciences et de la technologie relevées par Reverdy (2018). Autrement dit, il s'agit assurément de travaux qui conservent un lien fort avec notre discipline, d'une part, et qui s'appuient dans presque tous les cas sur un ou des concepts spécifiquement développés par les didactiques. Nous remarquons toutefois que les thèmes qui abordent de front ou de manière centrale les liens entre les sciences, les technologies et la société ne sont pas si fréquents, bien qu'ils occupent une place importante dans la vue d'ensemble du domaine dessinée par Reverdy. Nous notons notamment très peu de liens avec les travaux réalisés autour de la nature des sciences ou de la nature des technologies.

Cela ne signifie toutefois pas que les travaux présentés font l'économie des aspects axiologiques et des aspects épistémologiques de la didactique des sciences et de la technologie. Au contraire, autant les aspects axiologiques qu'épistémologiques et praxéologiques ont été largement discutés dans le Weekend des jeunes chercheurs, souvent en les présentant de manière conjointe, ce qui témoigne des liens qui les unissent, voire de leur enchevêtrement. Si les approches méthodologiques employées étaient le plus souvent qualitatives, nous avons constaté une diversité dans les instruments méthodologiques convoqués. Surtout – et c'est à nos yeux un élément important –, nous avons remarqué une recherche de pertinence et de cohérence chez chacune et chacun des doctorants que nous avons eu l'occasion de rencontrer. Ils ne cherchaient pas à aller au plus classique ou au plus simple : leur réflexion en profondeur quant au choix de leur appareillage méthodologique et analytique était remarquable. Dans le même ordre d'idées, nous avons été ravis de constater que les doctorants et les doctorantes ont partagé des préoccupations importantes relatives à la construction de leur cadre de référence et à la théorisation des résultats obtenus.

Un enjeu important nous a semblé émerger pendant l'évènement. Il concerne la quasi-absence de la didactique de la technologie pendant le Weekend des jeunes chercheurs. Tout au long de l'évènement, la didactique des sciences a occupé une place centrale. Nous sommes préoccupés de constater que la didactique de la technologie devient de plus en plus périphérique, voire de plus en plus marginale, dans nos travaux, alors que cette discipline présente toujours bien entendu une pertinence sociale et scientifique importante. L'ensemble

de la communauté gagnerait à veiller à ce que des postes de didactique de la technologie soient ouverts, que des doctorants et doctorantes s'y intéressent, que plus d'articles soient publiés dans le domaine. Notre communauté pourrait favoriser le dynamisme des recherches réalisées en didactique de la technologie, par exemple en créant un prix pour la meilleure communication à l'ARDiST ou au WEJCH dans le domaine. En somme, pour nous, il s'agit d'une situation problématique qu'il importe de contrer.

Dans un autre ordre d'idées, nous avons remarqué que plusieurs doctorants et doctorantes ont fait le choix d'examiner des objets hybrides dans le contexte de leur thèse, c'est-à-dire des objets de recherche à cheval sur la didactique des sciences et de la technologie et d'autres disciplines des sciences de l'éducation ou des sciences humaines et sociales, qu'il s'agisse de l'évaluation des apprentissages, des études sur le genre, de la technologie éducative ou encore de la sociologie des sciences, pour ne nommer que quelques exemples. Les « éducations à » (notamment à la complexité), l'éducation scientifique, l'éducation par la nature et l'éducation relative à l'environnement nous semblent prendre une place de plus en plus importante dans les travaux de la didactique des sciences et de la technologie, invitant à une prise en compte plus globale des divers aspects associés à l'enseignement et à l'apprentissage des sciences et de la technologie. Cela a pour conséquence une diversification des cadres théoriques et méthodologiques, mais aussi la réalisation de travaux auprès de publics variés, dans des contextes souvent formels, mais parfois aussi informels, voire non formels, dans des contextes nationaux diversifiés et en adoptant des modalités innovantes (recherche participative, recherche collaborative, recherche-action, par exemple). Il s'agit à nos yeux de changements positifs, qui permettront à l'ensemble de la communauté de bénéficier des regards à la fois nouveaux et pertinents sur notre champ d'études.

Références bibliographiques

Reverdy, C. (2018). *Les recherches en didactique pour l'éducation scientifique et technologique.* Dossier de veille de l'IFÉ n° 122. https://ens-lyon.hal.science/ensl-02400556v1/document

Les communicants au WEJCh

Prénom Nom	Université de rattachement	Pays de la thèse	Titre de la communication
Christelle Dubois	Université Libre de Bruxelles	Belgique	Constructions d'habiletés métacognitives lors de situations didactiques en sciences de la vie et inégalités d'apprentissage
Claire Faidit	Université Clermont Auvergne et HEP de Vaud	France	L'évaluation pour enseigner les sciences à l'école
Claudia Küll	Université Clermont Auvergne	France	Un logiciel pour aider les enseignants à gérer les hypothèses des élèves
Darine Elhajjar	Université de Brest	Liban	Représentations des enseignants libanais de physique et de chimie sur l'autonomie d'apprentissage des lycéens
Isabelle Focant	Université de Louvain	Belgique	« Déconstruire pour reconstruire » : d'une pensée linéaire à une pensée systémique
Jerôme Kariger	Université de Louvain	Belgique	Développer la pensée critique en sciences en secondaire
Muriel Blat	Université de Bretagne	France	Ajustements des professeurs des écoles en situation d'enseignement des sciences fondé sur l'investigation
Air Benecchi	ENS Lyon	France	Questions de genre et sciences
Valérie Marchal-Gaillard	Université de Bretagne	France	Les éco-gestes : ancrages didactique et sociologique
Marine Jacq	Université de Bretagne	France – Grande-Bretagne - Allemagne	Pédagogie par la nature dans 4 pays européens
Joseph Prince Kpokpolingou Koyambesse	Université de Bretagne	Centrafrique	Enseignement de l'intensité du courant au collège en Centrafrique

Partie 2 : Symposium « Analyse des pratiques langagières. Comparaison des cadres théoriques et méthodologiques en didactique des SVT »

Analyse des pratiques langagières. Comparaison des cadres théoriques et méthodologiques en didactique des SVT

Marlot Corinne [(1)], Lhoste Yann [(2)]
[(1)] UER MS, Haute École Pédagogique Vaud – Suisse ; Acté, U. de Clermont Auvergne – France ; CREAD, U. de Bretagne Occidentale - France
[(2)] U. des Antilles ; Lab-E3D, U. Bordeaux (EA 7441) – France ; CRSE, ULB - Belgique

Résumé

Ce symposium met la focale sur le rôle des pratiques langagières dans l'activité argumentative et explicative en classe de sciences et en formation. Les différents cadres d'analyse exprimés ont en commun et à des degrés divers l'analyse des pratiques langagières et ils mobilisent de manière plus ou moins centrale le cadre de l'apprentissage par problématisation. Le travail de notre collectif vise à produire - par la confrontation - un enrichissement mutuel des modèles d'intelligibilité du travail du professeur et des élèves lors de l'activité argumentative en sciences et dans des degrés différents.

Contexte

Le point de départ de ce symposium a été le constat d'un certain émiettement de la communauté des chercheurs en didactique des sciences de la vie et de la Terre (SVT), lié pour partie à une diminution du nombre de postes académiques et à leur dissémination dans différents laboratoires de pays francophones. Depuis une trentaine d'années, des cadres théoriques et méthodologiques ont été élaborés au sein de différentes équipes dans

l'intention de saisir pour l'analyser, l'activité langagière du professeur et des élèves dans des situations d'enseignement et d'apprentissage, et dans les situations de formation à l'enseignement en sciences. Choisir cette focalisation sur le langage nous semble être une entrée intéressante pour engager un travail de comparaison susceptible d'être un premier jalon dans la structuration du champ. En effet, quels que soient les cadres mobilisés en didactique des SVT : Théorie de l'Action Conjointe en Didactique (Sensevy et Mercier, 2007), Cadre théorique de l'apprentissage par problématisation (Orange, 2005), Théorie historique culturelle et sociale (Vygotski, 1998), et les méthodologies utilisées, les chercheurs s'appuient sur des discours (entretiens, verbatim d'enregistrement vidéo ou audio) et des textes (traces de l'activité d'enseignement et d'apprentissage : supports de planification, programmation, traces des élèves, affichage etc.), ce qui fait du langage un objet dont l'analyse permet de confronter les apports respectifs de chaque cadre à la modélisation des pratiques

Objectif scientifique général

L'objectif de ce symposium est donc d'engager une mise en discussion des principaux cadres théoriques et méthodologiques mobilisés dans le domaine de la didactique des SVT pour saisir comment ils prennent en compte l'activité langagière du professeur et des élèves dans les apprentissages biologiques et géologiques et dans la formation des enseignants, en prise avec les spécificités des savoirs en jeu. En effet, c'est bien cette dimension épistémologique forte qui caractérise les approches didactiques. Ce symposium s'inscrit dans le prolongement du numéro 11 de la revue RDST (2015) qui s'intéressait aux cadres théoriques et méthodologiques en didactique des sciences et des technologies. Dans l'article d'introduction du numéro 11 de RDST, Lhoste et Orange soulignaient, à partir d'une cartographie, l'importance prise par l'étude des relations entre langage et apprentissage et, de fait, la nécessité d'interroger et de mettre au jour les conceptions de l'apprentissage qui sous-tendent les analyses présentées dans les articles dans ce dossier (Lhoste et Orange, 2015, p. 20).

Mais ici, d'une part, nous nous limitons au domaine des SVT et d'autre part, nous nous focalisons sur les pratiques langagières (orales et écrites) du professeur et des élèves qui, même si elles ne rendent pas compte de l'ensemble des pratiques scientifiques scolaires, éclairent néanmoins les processus d'apprentissage. Huit ans après – comme l'avaient initié Santini et Crépin dans ce même numéro de RDST (Santini et Crépin-Obert, 2015) – et au

regard de la double focalisation précisée ci-dessus c'est-à-dire des relations entre langage et apprentissage dans les recherches en didactique des SVT, nous proposons de poursuivre cette réflexion sur la mobilisation des cadres théoriques et méthodologiques pour analyser les pratiques langagières en classe et en formation et les résultats que ces différents cadres – indépendamment ou en articulation – permettent d'obtenir.

Objectifs spécifiques

En classe de SVT, le langage donne lieu à des pratiques diversifiées – tant orales qu'écrites – en lien avec des démarches et des finalités variées. Concernant l'analyse de ces pratiques langagières, de nombreuses recherches issues de cadres théoriques et méthodologiques différents en didactique (Orange et Orange Ravachol, 2007 ; Marlot, 2014 ; Lhoste, 2017) montrent que l'activité langagière des acteurs renseigne sur leur activité cognitive (Schneeberger et al., 2021). Ce symposium met la focale sur le rôle des pratiques langagières dans l'activité argumentative et explicative en classe de sciences et en formation.

Les différents cadres d'analyse exprimés ont en commun et à des degrés divers l'analyse des pratiques langagières et ils mobilisent de manière plus ou moins centrale le cadre de l'apprentissage par problématisation. Le travail de notre collectif vise à produire – par la confrontation – un enrichissement mutuel des modèles d'intelligibilité du travail du professeur et des élèves lors de l'activité argumentative en sciences et dans des degrés différents et ce, d'un point de vue didactique.

Les contributions qui suivent interrogent d'une part, les références en sciences du langage qui sont mobilisées dans les différentes études. En effet, quatre des six études embarquent de manière plus ou moins explicite l'idée de l'institutionnalisation d'une communauté discursive disciplinaire scolaire (Jaubert, Rebière et Bernié, 2004 ; Jaubert et Rebière, 2005, 2012) comme levier d'acculturation scientifique grâce à la mise en œuvre de pratiques langagières spécifiques. Il s'agit de comprendre en quoi ces références sont dépendantes du cadre théorique didactique retenu. Quelles questions ces choix et ces emprunts prennent-ils en charge ? Avec quelle pertinence ?

D'autre part, d'un point de vue méthodologique, la confrontation des méthodes d'analyse au regard des cadres théoriques didactiques mobilisés et des résultats/élucidations produits vise à questionner les limites des outils d'analyse du langage choisis : que ce soit pour élargir leur domaine de pertinence ou bien pour spécifier leur domaine de validité.

Enfin, concernant la formation des enseignants quelles pratiques langagières et quels types d'objet langagier sont susceptibles de favoriser la co-construction d'espaces interprétatifs partagés et à terme des formes de développement professionnel chez les enseignants de sciences ?

Présentation des contributions

Pour répondre à ces différentes questions, nous allons présenter rapidement les 5 textes qui constituent la partie de l'ouvrage consacrée à ce symposium qui comportait à l'origine 6 communications. Le texte qui travaillait la comparaison entre TACD et cadre théorique de la problématisation à partir d'un travail commun entre Hanàa Chalak et Jérôme Santini sera manquant. Mais pour autant, il en sera question tout de même dans le chapitre conclusif de cette partie de l'ouvrage.

L'étude réalisée par *Fabienne Paulin, Catherine Brugière et Jörg Zabel* rend compte de l'utilisation du récit dans l'enseignement de l'évolution dans une classe de première (option scientifique). Les élèves (n= 24, âgés de 15 à 17 ans) devaient écrire un texte expliquant un processus de sélection naturelle et pouvaient choisir de le faire sous la forme d'un texte scientifique argumentatif ou d'un texte narratif. La question de recherche est de savoir dans quelle mesure le cadre narratif permet de moduler une explication scientifique en fonction de trois paramètres : la temporalité, l'intentionnalité et la créativité. Les textes narratifs des élèves ont été examinés (n=12) en croisant une approche micro et macro-textuelle (Jacobi, 1999) avec des critères épistémologiques associés au concept de l'évolution. Les résultats montrent que le mode narratif et le mode scientifique se sont influencés de manière différente selon les paramètres visés par l'étude.

Christian Orange et Denise Orange Ravachol – dans le contexte des études sur l'apprentissage par problématisation en sciences – articulent analyses épistémologiques et langagières. Leurs analyses s'intéressent aux débats scientifiques en classe mais aussi à la mise en texte des savoirs problématisés construits par la classe (Orange et Orange-Ravachol, 2007). C'est ce second point qui a été discuté ici à partir d'un cas de problématisation en biologie en fin d'école primaire ; le but est de questionner les conditions de possibilité d'une telle mise en texte à ce niveau scolaire. Une double nécessité apparaît : celle d'un étayage fort, par une succession de situations conduisant le travail d'abstraction de la classe à partir des productions antérieures, et celle d'une ouverture de chacune de ces situations qui

permette aux élèves de s'impliquer et de prendre en charge les dénivellations épistémiques et langagières correspondantes.

La contribution suivante est portée par *Patricia Marzin et Patricia Schneeberger*. Différentes recherches consacrées au sens donné par les élèves aux activités expérimentales (Marzin-Janvier, 2015) ont montré l'importance de les faire travailler sur la conception d'un protocole expérimental et sa formalisation, dans un contexte de démarche d'investigation. Ces travaux se sont appuyés sur l'étude des productions langagières des élèves (à l'oral et à l'écrit) à la fois pour identifier les raisonnements qu'ils mettent en œuvre et pour suivre la construction progressive de significations partagées. Les deux auteures proposent de reprendre ces analyses selon des points de vue empruntés aux sciences du langage en mobilisant les concepts de positionnement énonciatif (Jaubert, Rebière et Bernié, 2012) et de communauté discursive disciplinaire scolaire (Bernié, 2002). Elles prennent pour exemple une situation dans laquelle les élèves doivent justifier leurs hypothèses (formulées en réponse à un problème scientifique) et analysent leurs pratiques langagières. Les résultats permettent de mieux comprendre comment les formes d'étayage associées à ce type de dispositif d'apprentissage participent à l'acquisition par les élèves des façons d'agir-parler-penser spécifiques aux sciences, favorisant ainsi leur acculturation scientifique.

Yann Lhoste et Corinne Marlot s'intéressent à la façon dont les élèves construisent des significations partagées et plus particulièrement aux processus de sémiose en jeu dans les apprentissages scientifiques (Marlot, 2014 ; Lhoste, 2017). Ils comparent la manière dont chacun d'eux comprennent ces processus au regard de leur deux cadres théoriques et méthodologiques - celui de la théorie de l'action conjointe en didactique et celui de la modélisation de la structuration des contextes (Lhoste, 2017). Cela leur permet de mettre en discussion les deux cadres convoqués dans une perspective de didactique comparée et dans leurs apports respectifs et complémentaires à la compréhension de phénomènes didactiques en biologie. Ainsi seront caractérisés – à partir de l'identification des objets de discours – des phénomènes de conjonction/disjonction entre savoirs et pratiques de savoir lors de la construction de modèles explicatifs en situation de débat argumentatif.

Enfin, *Patrick Roy* et *Corinne Marlot* ont mis en place sur plusieurs années une communauté discursive de pratiques professionnelles (CDPP) en science afin d'engager un collectif de chercheurs didacticiens et d'enseignants dans le traitement de problèmes d'enseignement-apprentissage sur la caractérisation du vivant au cycle 1 du primaire (Marlot et Roy, 2020).

Le but était de co-construire des pratiques professionnelles susceptibles de favoriser l'entrée de très jeunes élèves dans la culture scientifique. Les résultats montrent que la dimension discursive de cette communauté permet la construction de points de vue partagés et argumentés (processus de sémiose) entre les acteurs au moyen d'objets bifaces qui agissent comme outils langagiers de pilotage. Les analyses des pratiques langagières se référant à la description/interprétation des situations de classe sur le vivant dans le cadre des débats experts conduits sous le format d'entretien d'autoconfrontation croisée prennent souvent appui sur un ensemble de concepts didactiques interreliés au sein d'un réseau cohésif, ce qui laisse présager un développement des schèmes (modèles cognitifs et opératifs) des enseignants dans ce domaine de connaissance.

La partie de l'ouvrage consacrée à ce symposium s'achève sur un texte qui donne à voir les principaux éléments qui ont fait l'objet de la discussion finale : le développement des modèles d'intelligibilité de l'activité didactique en classe de sciences, l'articulation entre pratiques langagières et acculturation scientifique par le développement de manières d'agir-penser-parler ainsi que la possibilité d'élargir le domaine de pertinence des cadres théoriques et méthodologiques lors de leur articulation avec d'autres cadres en didactique des SVT.

Références bibliographiques

Bernié, J.-P. (2002). L'approche des pratiques langagières scolaires à travers la notion de « communauté discursive » : un apport à la didactique comparée ? *Revue Française de Pédagogie* (141), 77–88.

Jacobi, D. (1999). La communication scientifique : discours, figures, modèles. Presses Universitaires de Grenoble.

Jaubert, M., Rebière, M et Bernié, J.-P. (2004). Signification et développement : quelles « communautés ». Dans C.H. Moro et R. Rickenmann (Eds.), *Situation éducative et significations* (pp. 85-104). De Boeck.

Jaubert, M. et Rebière, M. (mai 2005). Émergence d'un concept en didactique du français : la secondarisation. *Colloque épistémologie des didactiques des disciplines*, Bordeaux.

Jaubert, M. et Rebière, M., avec la collaboration de Bernié J.-P. (2012). Communautés discursives disciplinaires scolaires et constructions de savoirs : l'hypothèse énonciative. *Forumlecture.ch* (3). https://www.forumlecture.ch/sysModules/obxLeseforum/Artikel/476/2012_3_Jaubert_Rebiere_Bernier.pdf

Lhoste, Y. et Orange, C. (2015). Quels cadres théoriques et méthodologiques pour quelles recherches en didactique des sciences et des technologies ? *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 11, 9-24.

Lhoste, Y. (2017). *Épistémologie et didactique des SVT*. Presses universitaires de Bordeaux.

Marlot, C. (2014). Le processus de double sémiotisation au cœur des stratégies didactiques du professeur. Une étude de cas en découverte du monde vivant au cycle 2. *Revue Suisse des Sciences de l'Éducation*. 36 (2) 307-332.

Marlot, C. et Roy, P. (2020). La Communauté Discursive de Pratiques : un dispositif de conception coopérative de ressources didactiques orienté par la recherche. *Formation et pratiques d'enseignement en questions* 26, 163-183.

Marzin-Janvier, P. (2015). Étayer la conception expérimentale par des environnements informatiques : études en génétique. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (12), 87-112.

Orange, C. et Orange Ravachol, D. (2007). Problématisation et mise en texte des savoirs scolaires : le cas d'une séquence sur les mouvements corporels au cycle 3 de l'école élémentaire. *Actes des cinquièmes journées scientifiques de l'ARDIST*, 305-312.

Orange, C. (2005). Problématisation et conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques. *Les Sciences de l'éducation - Pour l'Ère nouvelle*, 38, 69-94. https://doi.org/10.3917/lsdle.383.0069

Sensevy, G. et Mercier, A, (2007). Agir ensemble : l'action conjointe du professeur et des élèves. Presses Universitaires de Rennes.

Santini, J. et Crepin-Obert, P. (2015). Analyse comparée de séances de géologie à l'école primaire. Problématisation et action conjointe élève-professeur, *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 11, 25-52.

Schneeberger, P., Rebière M., Jaubert, M., Orange Ravachol D., Lhoste Y., et Badin, F. (2021). Écrire en sixième un texte explicatif en sciences. Dans M. Niwese, M. (dir.). *Compétences et difficultés des élèves à l'entrée au collège. Résultats de la recherche ÉCRICOL*. Peter Lang.

Vygotski L. S. (1998). *Pensée et langage*, 3ième édition de la traduction française, La Dispute, Paris, 1934-1937

Travailler des problèmes évolutifs avec des lycéens : une analyse comparée de récits et de textes argumentatifs

Paulin Fabienne [(1)], Bruguière Catherine [(2)], Zabel Jörg [(3)]
[(1)] [(2)] Laboratoire S2HEP (UR 4148), Université Lyon1- France
[(3)] Laboratoire de didactique de la biologie, Université de Leipzig – Allemagne

Résumé

Cette étude rend compte de l'utilisation du récit dans l'enseignement de l'évolution dans une classe de première (option scientifique). Les élèves (n= 24, âgés de 15 à 17 ans) devaient écrire un texte expliquant un processus de sélection naturelle et pouvaient choisir de le faire sous la forme, soit d'un texte scientifique argumentatif, soit d'un texte narratif. Notre question de recherche vise à comprendre à quelles conditions didactiques la production de récits ou de textes argumentatifs permet aux élèves de moduler l'intentionnalité, la temporalité et la variabilité intra-populationnelle, dans l'élaboration d'une explication scientifique portant sur la sélection naturelle. Les résultats montrent que les deux types de production présentent des potentiels complémentaires pour négocier des explications sur la sélection naturelle.

Introduction

En classe de Sciences de la Vie et de la Terre (SVT), le texte argumentatif est la forme canonique des réponses attendues des activités des élèves. Il s'agit d'un texte qui infère une conclusion à partir de prémisses issues des résultats obtenus par les élèves que ce soit pour

une seule activité ou pour le bilan de la séance. Les textes argumentatifs que nous envisageons doivent avoir une valeur explicative d'un événement ou d'un processus et répondre ainsi aux problématiques travaillées par les élèves. Cependant leurs productions en classe de SVT peuvent poser problème quand ils aboutissent à des textes de savoirs assertoriques c'est-à-dire peu fondés en raisons (Astolfi, 2008 ; Lhoste 2017 ; Orange, 1997 ; Van Brederode, 2019). Leur valeur explicative est dans ce cas fortement réduite. En outre, en lieu et place de textes argumentatifs, certains élèves ont tendance à produire spontanément des textes narratifs. Ces textes présentent une structure proche d'un récit avec une séquentialisation des événements et qui peut s'en tenir à une mise en histoire (Orange Ravachol, 2007) ou relever d'une mise en intrigue (Bruner, 1996). L'intérêt pour l'étude didactique des textes narratifs produits en classe de SVT s'inscrit dans la recherche d'une meilleure compréhension de cette pratique langagière spontanée chez les élèves. Il ne s'agit plus de la considérer comme « accidentelle » mais comme un levier possible dans l'élaboration d'explications scientifiques. Certains auteurs ont montré que le mode narratif peut engager les apprenants dans un travail de problématisation scientifique (Lhoste *et al*, 2012 ; Bruguière *et al*, 2014 ; Orange Ravachol, 2017) mais aussi donner aux concepts scientifiques un ancrage personnel favorisant leur appropriation (Zabel et Gropengießer, 2015).

Dans le cadre de ce chapitre, nous nous intéressons à des productions explicatives réalisées par des élèves d'un lycée français (âgés de 15 à 17 ans) en réponse à un exercice sur la sélection naturelle. Les formes d'explications, laissées au choix des élèves, peuvent être rédigées sous la forme d'un récit ou celle d'un texte argumentatif.

L'objectif de notre étude exploratoire vise à comprendre de quelle façon l'une et l'autre de ces pratiques langagières contribuent à travailler des problèmes évolutifs. Plus particulièrement, nous analysons les potentialités didactiques de la mise en récit par comparaison avec celles des textes argumentatifs dans l'élaboration d'explications évolutives. Les potentialités interrogées concernent des aspects épistémologiques relevant des savoirs sur la sélection naturelle : l'intentionnalité, la temporalité et la variabilité intra-populationnelle.

Cadres théoriques, références et question de recherche

La mise en récit comme pratique langagière en classe de SVT

Dès son plus jeune âge, comme le souligne Bruner (1985), l'être humain a une prédisposition pour la mise en récit qui se réalise, s'exprime, se manifeste de manière spontanée dans le travail scientifique des élèves. Sur le plan didactique, différents travaux ont montré certaines potentialités et certaines limites de la mise en récit en sciences. Ainsi, l'une des tendances des apprenants consiste à expliquer des phénomènes scientifiques au moyen de mises en histoires qui mobilisent des raisonnements séquentiels de type linéaire-causal (Viennot, 1996 ; Orange-Ravachol, 2007 ; Lhoste *et al*., 2011). Ces formes spontanées d'explications empêchent le plus souvent de penser des systèmes complexes en termes de simultanéité et de rétroaction de phénomènes. Toutefois, certains auteurs, parce qu'ils considèrent ces "mises en histoire" dans le cadre de l'apprentissage par problématisation, leur accordent une potentialité cognitive. Denise Orange-Ravachol et Mélanie Guerlais (2005) distinguent, parmi les mises en histoire, des histoires à possibles explicatifs et des histoires à impossibles explicatifs qui offrent une prise à la problématisation scientifique. Pour Yann Lhoste et ses collaborateurs (2012), certaines chroniques peuvent constituer un genre premier dans la production d'explications, dans le sens où elles permettent une exploration sur l'axe assertorique. Nos travaux (Bruguière et Triquet, 2012 ; Bruguière *et al*., 2014 ; Zabel *et al*. 2021 ; Paulin *et al*. 2022) ont pris le pas d'étudier des situations d'apprentissage en SVT où la production de récits raisonnés est autorisée afin de mieux comprendre sa fonctionnalité sur le plan cognitif. C'est en particulier en considérant le récit en tant que processus de mise en intrigue (Ricoeur, 1983) que nous avons montré de quelle façon il pouvait offrir une prise à la problématisation. L'intrigue, via la complication, parce qu'elle installe une brèche dans l'ordre des choses auquel nous nous attendons, une rupture avec ce que nous tenons pour vrai (Bruner, 1996) participe à mettre au jour des problèmes scientifiques (Triquet, 2005 ; Bruguière et Triquet, 2012). Cinq étapes sont repérables et présentes dans un récit : état initial, complication, développement, résolution/sanction, état final (Larivaille, 1973). Il en est de même de cette dynamique quinaire qui permet de structurer des explications scientifiques (Bruguière et al, 2014 ; Zabel et al, 2021).

Le texte argumentatif, production langagière incontournable des activités en SVT

Un texte argumentatif, dans le champ des sciences du vivant et de la Terre, est une construction logique langagière qui rend compte des raisonnements conduits. Un argument scientifique est un ensemble de n énoncés, dont les n-1 premiers sont les prémisses, et le dernier la conclusion (Barberousse, 2005). Trois types d'inférence sont identifiées en fonction de la portée de l'argument : la déduction (appliquer la règle générale à un cas particulier), l'induction (produire une règle générale à partir de cas particuliers) et l'abduction (suggérer la règle qui explique un cas particulier). Toulmin (1958) propose un modèle d'argumentation précisant la nature des différentes prémisses et leur lien de dépendance. Dans les sciences empiriques, la construction de lois ou de règles pour expliquer les processus naturels à partir d'échantillons mobilise essentiellement des inférences inductives qui portent, de fait, une part d'incertitude puisqu'il est impossible d'avoir accès à tous les individus d'une catégorie pour pouvoir affirmer qu'ils présentent tous une caractéristique relevée chez quelques-uns. Ce problème de l'induction a occupé les philosophes du XIXe et du XXe (Hume et son problème de l'induction) dont Popper qui élabora son principe de réfutation pour tenter d'apporter une solution au problème de la généralisation (Nouvel, 2011).

D'un point de vue langagier, les textes argumentatifs mobilisent des connecteurs logiques qui articulent les prémisses entre elles et avec la conclusion. Ces connecteurs (présence et nature) seront un des marqueurs d'analyse de notre travail. Cependant, dans les textes argumentatifs, la temporalité des événements n'est pas consubstantielle à la structure logique quand ils s'emploient à généraliser un mécanisme ubiquiste ou à retrouver un mécanisme connu dans un événement particulier (dans le cas d'une inférence abductive). Ils s'opposent en cela à la structure narrative qui est nécessairement inscrite dans une ou plusieurs temporalités. Le suivi des marqueurs temporels dans les textes argumentatifs et narratifs sera un élément important dans notre comparaison entre ces deux formes langagières.

Dans le cadre théorique de la problématisation, les textes argumentatifs, s'ils sont explicites sur les prémisses utilisées, sont l'expression d'un savoir apodictique c'est-à-dire exposant les raisons et les conditions de possibilités du savoir en jeu, ce qui est pour nous l'objectif premier d'un enseignement scientifique.

Cependant différents travaux en didactique des sciences mettent en évidence des problèmes de différentes natures concernant les textes argumentatifs construits dans la classe de SVT dans la phase d'institutionnalisation du savoir :

- Les textes de savoirs produits dans la classe prennent régulièrement la forme d'un savoir « propositionnel » (Astolfi, 2008 ; Delbos et Jorion, 1990) c'est-à-dire "organisés comme une suite d'assertions posées comme « vraies » indépendamment des problèmes auxquels elles viennent répondre, assertions organisées selon une logique cumulative qui reprend les différentes observations faites avec les élèves au cours de l'étude." (Lhoste, 2017, p.47). Notons que les assertions sont "connectées entre elles par des marqueurs temporels : c'est le plan de l'étude retenu par l'enseignant qui organise « logiquement » la construction de l'énoncé d'un savoir vrai." (Lhoste, 2017, p.40). Cette forme assertorique est, selon nous, très éloignée d'un texte argumentatif dans lequel les prémisses sont articulées entre elles et avec la conclusion par des connecteurs logiques permettant de rendre compte des conditions de possibilités de ce savoir et le rendant opérant dans le sens d'Orange (1997).
- Au-delà de l'aspect peu argumenté des énoncés de savoir scolaires, ceux qui le sont peuvent mobiliser des inférences inadéquates. Dans des activités d'enseignement portant sur la phylogénie (la recherche de la parenté entre espèces), nos travaux (Paulin et al, 2018) ont montré que l'institutionnalisation du savoir se fait en mode déductif, conduisant à un savoir « vrai » alors que la construction de relations de parenté, conduit à un résultat qui est le plus probable par rapport à d'autres, dans un processus en grande partie inductif, ménageant des zones d'incertitude irréductibles.
- Par ailleurs Marion van Brederode (2019) montre comment les textes de savoirs sont plus ou moins problématisés, c'est-à-dire fondés en raison, en fonction des origines sociales d'élèves de classes de 6ème. Certains textes permettent seulement de « savoir que... », d'autres de « savoir un peu plus que… » et les plus aptes à faire monter en abstraction et en généralité sont ceux qui conduisent à « savoir pourquoi ». Le résultat de l'étude est que les élèves issus de milieux défavorisés se voient plus souvent proposer des textes de « savoirs que » en lieu et place des textes de « savoir pourquoi »,

déséquilibre pouvant participer au maintien des inégalités scolaires en termes de culture scientifique.

Les savoirs sur l'évolution : références et obstacles documentés.

Nous nous référons dans ce travail à une épistémologie actualisée de l'évolution (Gould, 2006 ; Gayon, 2009 ; De Ricqlès et Padian, 2009 ; Lecointre, 2009 ; Pigliucci, 2013 ; Laland, 2014) et à la définition proposée par Anouk Barberousse (2011). Les élèves doivent mobiliser les conditions de possibilités de l'évolution et précisément celles de la sélection naturelle (Huneman, 2011) et les appliquer à l'exemple traité :

- une variation initiale dans une population,
- une pression de sélection qui détermine l'aspect favorable ou défavorable d'un caractère dans un contexte donné,
- une reproduction différentielle, sur plusieurs générations, avec une transmission plus fréquente des allèles déterminant les caractères favorables.

L'enseignement de l'évolution fait face à de nombreux obstacles bien documentés chez les élèves (Fortin, 2000, 2009, 2011 ; Aroua, 2002 ; Olander, 2008 ; Zabel, 2011, Gobert, 2014, Kampourakis, 2020). Notre étude focalise sur trois obstacles épistémologiques dans les explications concernant spécifiquement la sélection naturelle :

- le finalisme ou l'adaptation intentionnelle : le finalisme visé ici est celui qui confond l'effet et la cause dans les processus évolutifs. Il se manifeste dans les explications par une adaptation volontaire d'un organisme à son milieu par le développement d'un caractère favorable (grâce à une mutation idoine) dans un contexte donné.
- le temps générationnel : le processus sélectif passe par une reproduction différentielle sur plusieurs générations conduisant à des changements de fréquence des caractères. Ce temps générationnel est un élément central de la complétude d'une explication darwinienne dans le cas d'une sélection naturelle. Cependant il est peu mobilisé dans les explications produites par les élèves.
- la pensée typologique : c'est une pensée essentialiste dans laquelle l'espèce est comprise comme un ensemble d'individus prototypiques et qui s'oppose à la prise en compte de la variabilité intra-populationnelle (ou pensée

populationnelle) de l'espèce qui est le cadre explicatif actuel de la biologie de l'évolution (Gobert, 2015).

Sur la base de cette réflexion didactique sur les productions argumentatives et narratives des élèves en classe de SVT, nous nous sommes demandés dans quelle mesure ces deux formes langagières permettent de travailler des problèmes évolutifs.

Plus précisément, notre question de recherche vise à comprendre à quelles conditions didactiques la production de récits ou de textes argumentatifs permet aux élèves de moduler l'intentionnalité, la temporalité et la variabilité intra-populationnelle d'une explication scientifique portant sur la sélection naturelle. Nous pensons que la forme argumentative est moins apte à mobiliser le temps générationnel puisque que l'accent est davantage mis sur la structure logique.

Plus largement, on peut supposer qu'un travail de comparaison entre récit et texte argumentatif a un intérêt didactique pour faire comprendre en creux ce que devrait être un texte argumenté. Il est possible que des énoncés de savoir sur l'évolution produits par les élèves soient un hybride stérile entre récit et argumentation.

Méthodologie

Situation de recueil des données

Les données ont été recueillies dans une classe d'un lycée français du centre-ville lyonnais en septembre 2020 (n= 24, âgés de 15 à 17 ans, 14 filles/10 garçons) par l'entremise d''un exercice sur la sélection naturelle dont l'énoncé et la consigne sont les suivants :

« En avril 1962, dans un grenier du Missouri, des souris mutantes au pelage jaune pâle ont été découvertes dans une population de souris brunes. La couleur du pelage d'une souris est un trait héréditaire.

Un scientifique s'est intéressé à ces souris et a isolé le grenier des chats de la ferme **jusqu'en décembre 1962**, date à laquelle il a compté les souris en fonction de leur couleur. **Début janvier 1963**, il a pratiqué une petite ouverture dans l'un des murs du grenier pour que les chats puissent y pénétrer. **En juin 1963**, il a recompté les souris.

Dates des comptages	Nombre total de souris	Nombre de souris brunes
Décembre 1962	180	100
Juin 1963	140	130

Consigne : Rédigez un texte qui explique comment les souris foncées se retrouvent en plus grande proportion en juin 1963 que les souris jaunes. (Information : la durée de gestation des souris est de 15 à 20 jours).

Vous pouvez répondre sous la forme

- soit d'un texte scientifiquement argumenté,
- soit d'une histoire dans laquelle vous vous placerez du point de vue du scientifique, d'une souris (jaune ou brune), du chat ou d'un autre personnage de votre choix pour expliquer ce changement de proportion. »

L'énoncé de l'exercice insiste sur les étapes temporelles sans donner le pas sur une quelconque visée finaliste au processus de changement de la fréquence des couleurs de pelage de la population de souris. L'enjeu didactique est de placer les élèves dans une situation qui favorise la prise en charge du temps générationnel et pas celle de propos finalistes. Toutefois, les textes argumentatifs mettent en jeu un raisonnement abductif qui peut évacuer le temps générationnel : l'explication concerne un cas particulier (des souris jaunes et brunes dans un grenier en présence de chats) qui va être expliqué à l'aide du concept de sélection naturelle.

Les textes ont été produits en travail personnel, à la maison, sans contrainte de temps.

Corpus

Le corpus est constitué de vingt-quatre textes parmi lesquels douze sont des récits et douze sont des textes argumentatifs.

Les textes attendus doivent mettre en relation les conditions de possibilités d'un processus sélectif (variation, hérédité, reproduction et pression de sélection) au sein d'une population avec la situation présentée dans l'énoncé.

- La variation initiale : des souris à pelage jaune et des souris à pelage brun existent dans une population vivant dans un grenier.
- La pression de sélection : les chats chassent les souris dans un grenier sombre. Ils perçoivent davantage les souris jaunes que les brunes. Les souris jaunes sont attrapées plus fréquemment que les souris brunes.
- La reproduction différentielle et l'hérédité : les souris brunes ont davantage de descendants que les souris jaunes à chaque génération. L'allèle codant le pelage brun est davantage transmis au fil des générations que l'allèle codant un pelage jaune.

La conclusion est donc qu'au cours des générations successives, les souris brunes, du fait de la reproduction différentielle, sont de plus en plus nombreuses en proportion par diminution des souris jaunes qui sont plus repérables par le chat dans le grenier sombre.

Traitement des données

Pour l'analyse de ces vingt-quatre textes nous avons construit une grille qui combine des critères structuraux du récit (Jacobi, 1999) et du texte argumentatif ainsi que des critères épistémologiques de l'explication darwinienne (Tableau 1) concernant la sélection naturelle (Huneman, 2011) dans le cadre actualisé de la théorie de l'évolution (Barberousse, 2011 ; Gayon, 2009 ; De Ricqlès et Padian, 2009 ; Gould, 2006).

L'originalité de notre grille d'analyse tient dans le croisement qu'elle opère entre plusieurs références théoriques (cadre du récit, argumentation scientifique, cadre épistémologique de l'évolution du vivant) qui ne sont pas habituellement travaillées ensemble. Elle nous permet d'attraper, à la fois, ce que disent les élèves et comment ils le disent. Nous pensons que c'est dans cette approche que le potentiel cognitif de ces deux modes d'expression sera repérable.

Nous rendons compte ici de la partie épistémologique (Tableau 1) de la grille.

Concernant la variation initiale intra-populationnelle, nous utiliserons des marqueurs sémantiques indicateurs de l'individualité des individus (souris, chat, scientifique, …) que sont les déterminants mobilisés par les élèves : est-ce que les élèves parlent d'un individu particulier (cette souris, ce chat, une souris jaune, une souris brune, ...) ou/et d'un groupe de souris en général (les souris jaunes, les souris brunes, les chats, ...)

Critères épistémologiques	**Marqueurs d'analyse**
Variation initiale dans la population	Variation initiale présentée comme préexistante dans la population étudiée.
Pression de sélection	Vision facilitée des souris jaunes dans le grenier sombre par le chat
Reproduction différentielle	Transmission privilégiée des allèles déterminant un pelage brun
Temps générationnel	Nécessité d'une succession de générations pour changer la fréquence des allèles
Intentionnalité	Pas de mutation intentionnelle responsable d'un changement de couleurs

Tableau n°1 : Critères épistémologiques et marqueurs d'analyse

Nous pensons que la pensée typologique s'exprime également dans l'idée que seules des souris jaunes vont se faire manger par les chats et qu'aucune souris brune ne sera attrapée. Nous relevons donc les expressions langagières qui signalent la position de l'élève sur ce point.

À présent, nous envisageons de façon comparative trois aspects épistémologiques (intentionnalité, variabilité initiale, temps générationnel dans notre corpus de textes.

Résultats et discussion

Nous présentons, ci-dessous (tab. 2), les résultats comparatifs concernant les attendus de l'explication darwinienne pour cet exercice.

Critères épistémologiques	**Réponses attendues**	**Critères présents /12 textes narratifs**	**Critères présents /12 textes argumentatifs**
Statut de la variation	Une variation initiale est la condition première d'un processus de sélection naturelle	12	12
Pression de sélection	La couleur jaune du pelage est un caractère défavorable dans le grenier sombre. Les souris jaunes sont plus visibles par le chat que les souris brunes.	9	12
Reproduction différentielle	Les souris brunes transmettent davantage leurs allèles que les souris jaunes.	4	4
Temps générationnel	Le changement de fréquence nécessite plusieurs générations d'individus.	4	1
Intentionnalité	Devenir une souris brune ou jaune est un processus génétique aléatoire.	12	12

Tableau n°2 : Résultats de la comparaison des textes argumentés et des récits

Concernant l'aspect intentionnel du processus de sélection naturelle, aucun des textes (narratif ou texte argumentatif) ne propose d'explications finalistes avec une mutation *ad hoc* qui change la couleur des souris. Ce résultat peut paraître étonnant, car les énoncés finalistes sont très courants dans ce genre d'exercice. Nous l'expliquons par le contenu de notre énoncé qui rend présent, dès le début, la variabilité phénotypique de la population de souris dans laquelle existe, avant tout événement, une différence de couleur. En contraignant ainsi l'énoncé, nous pensons laisser plus de champ aux autres aspects de l'explication darwinienne (temps générationnel et pensée typologique), ce qui semble se réaliser ici.

Le temps générationnel est explicité dans quatre récits sur douze et dans un seul texte argumentatif. Cependant, dans les récits, une relation entre la temporalité des récits et le

point de vue adopté est repérable (Tableau 2). A titre d'exemple, lorsque les textes narratifs sont écrits du point de vue d'un scientifique (7 récits/12), une première partie relate les différents épisodes de l'expérience du scientifique, précisés par des marqueurs temporels repérés (dates, durée des événements), tandis qu'une seconde partie fournit une explication scientifique reprenant partiellement ou totalement les attendus sur la sélection naturelle. Pour les textes narratifs écrits du point de vue d'un animal (chat, souris jaune ou brune) (5 récits/12), ils prennent la forme de récits articulés autour d'une intrigue dont la complication (l'arrivée du chat) sert d'axe temporel pour situer trois périodes - avant, pendant, après -. Dans ce cas, les récits se concentrent sur l'impact immédiat de la prédation et non sur le processus de sélection.

Quant aux textes argumentatifs, ils sont structurés sur un mode démonstratif ponctués par des connecteurs logiques articulant les énoncés. Cependant, l'explicitation du temps générationnel est quasi absente. Cela peut s'expliquer par le fait que ces textes argumentés sont davantage des explications d'un processus de sélection naturelle, c'est-à-dire des explications fonctionnelles. Ce type d'explication peut être pertinent (les conditions de possibilités de la sélection, variation, pression de sélection, reproduction différentielle, sont bien identifiées et articulées) sans que le temps générationnel soit explicitement exprimé. Se centrer sur cette explication fonctionnelle, rend peut-être l'ancrage dans un temps générationnel secondaire par rapport à la description du mécanisme de sélection naturelle.

Nous proposons finalement trois catégories de textes vis-à-vis du temps générationnel (Tableau 3) que nous caractérisons en fonction des marqueurs temporels.

Avec des narrateurs animaux, les récits se concentrent sur la prédation des souris, qui devient l'événement central de l'histoire. Dans ce cadre, la sélection n'est pas comprise comme un processus multigénérationnel mais comme un événement ponctuel (Gregory 2009). Avec des narrateurs scientifiques, le récit se concentre sur l'approche expérimentale, et le temps générationnel est plus explicite. Des deux types de production écrite, c'est le texte narratif, en tant que récit articulé autour d'une intrigue, qui finalement semble le plus apte à mobiliser ce temps des générations, notamment lorsque le récit est sous le point de vue du scientifique.

Type de texte		**Marqueurs temporels du temps générationnel**	**Marqueurs logiques**	**Reproduction différentielle (pas de pensée typologique)**
Récit	Point de vue du chat	+	-	+
	Point de vue du scientifique	++	++	++
Texte argumentatif		-	++	+

Tableau n°3 : Les 3 catégories de texte au regard du temps générationnel

(- : aucun ; + : 1 ou 2 cas ; ++ : 3 ou plus de cas)

S'agissant de la prise en compte de la variabilité intra-populationnelle, nous avons pu repérer une forme de pensée typologique (Tableau 4), plus prégnante dans les récits que dans les textes argumentatifs.

Explication donnée par les élèves	**Récit (/12)**	**Texte argumentatif (/12)**
Seules les souris jaunes se font manger (aucune brune)	9	3
Des souris brunes se font également manger mais en quantité moindre que les jaunes	2	7
Pas d'éléments clairs	1	2

Tableau n°4 : Comparaison des textes au regard de la pensée typologique

Nous repérons dans neuf récits sur douze, que les deux groupes de souris sont décrites comme deux populations différentes dont le devenir est déterminé par la couleur du pelage : les souris jaunes pourront être mangées mais les souris brunes ne le sont pas. Il s'agit d'une simplification du processus différentiel de la sélection naturelle qui est transformé ici en une compétition entre deux groupes distincts, ce qui est un schéma récurrent des récits (Egan, 1987). S'il y a une pensée typologique exprimée ici, c'est dans cette vision dichotomique

d'une population initiale de souris d'une même espèce en deux populations-types disjointes et essentialisées à leur couleur. Ce glissement est minoritaire dans les textes argumentatifs dans lesquels la formulation la plus fréquente est : « les souris jaunes se font plus manger que les souris brunes » expression classique du processus différentiel sélectif quand il est travaillé en classe. Dans cet exemple précis, la forme argumentée semble davantage porteuse d'une vision non typologique de l'espèce que la forme narrative.

Conclusion

Nous questionnons le récit comme prédisposition langagière et mode d'organisation d'objets de discours en sciences. Il s'agit de mettre au jour les articulations possibles entre mode de pensée narratif et mode de pensée scientifique notamment dans le travail de secondarisation. La petite taille de l'échantillon de cette étude exploratoire ne permet pas de tirer des conclusions majeures. Cependant, les résultats suggèrent que le mode narratif ouvre des perspectives intéressantes pour travailler certains aspects des problèmes évolutifs avec en premier lieu leur rapport au temps.

Les récits étant nécessairement situés historiquement, ils sont plus propices à la réflexion sur la temporalité d'un processus évolutif qu'un texte argumentatif plus conceptuel. Cependant le temps générationnel est pris en compte uniquement dans les textes dont le narrateur est un scientifique. La mise en récit semble donc permettre d'ancrer les explications dans une temporalité réaliste mais qui peut aussi « s'égarer », selon le narrateur choisi, hors de l'explication darwinienne (temps de l'expérience du chat, temps de l'attaque des chats, …)

Par ailleurs, la mise en récit d'explications scientifiques permet, par comparaison, de rendre plus saillante la structure atemporelle des explications argumentatives. Celles-ci sont en effet des articulations logiques d'énoncés qui aboutissent à une montée en abstraction (dans le cas d'une généralisation, par exemple) qui peut aisément s'extraire du temps historique.

Concernant l'intentionnalité et la pensée typologique, dans notre étude, nous mettons en évidence, que l'élaboration de l'énoncé et des consignes de l'exercice sont des moments clés pour orienter l'apprentissage. Présenter la variation intra-populationnelle dès l'énoncé semble avoir permis (comme nous le souhaitions) de minimiser le risque de propos finalistes concernant la couleur des souris. Les élèves ont pu se focaliser (plus ou moins adroitement) sur la reproduction différentielle en lien avec une pression de sélection sans être court-circuités par la pensée finaliste.

En ce qui concerne le récit, le choix du narrateur, laissé libre, montre que le point de vue énonciatif choisi entraine des formes narratives différentes notamment concernant la temporalité. Il est, selon nous, un paramètre didactique pertinent pour moduler l'apprentissage sur la sélection naturelle.

En conclusion, d'un point de vue didactique, chaque type de texte (narration et argumentation) possède un potentiel d'apprentissage, qui pourrait être renforcé dans la mise en discussion des textes produits. Poursuivre notre travail de recherche par l'analyse de ces interactions langagières dans la classe, apportera un niveau de compréhension plus fin et plus conséquent à nos questions de recherche.

Bibliographie

Astolfi, J.-P. (2008). *La saveur des savoirs. Disciplines et plaisir d'apprendre*. Issy-les-Moulineaux : ESF Éditeur.

Aroua, S., Coquidé, M., Abbes, S. (2002). L'évolution biologique : Conceptions et rapport au savoir d'élèves tunisiens. *Actes des XXIVes J.I.E.S*, 265–268.

Barberousse, A. (2005). Systématique phylogénétique et sens de l'histoire. *Biosystema*, 24, 119-133.

Barberousse, A. (2011). Pourquoi et comment formaliser la théorie de l'évolution ? Dans T. Heams, P. Huneman, G. Lecointre et M. Silberstein (dir) *Les mondes darwiniens – l'évolution de l'évolution* (417-439). Editions Matériologiques. www.materiologiques.com.

Bruguière, C., Aldon, G., et Paulin, F. (2014, 23-27 juin). Mises en récit et formes de raisonnement en classe de mathématiques et de biologie. Colloque Narrative Matters Narrative Knowing/récit et savoir, Université Paris Diderot. Paris, France.

Bruguière, C. et Triquet, E. (2012). Des albums de fiction réaliste pour problématiser le monde vivant. *Repères*, 45, 181-200.

Bruner, J. (1996). *The Culture of Education. 2. Ed*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Bruner, J. (1985). The Role of Interaction Formats in Language Acquisition. Dans Forgas, J.P. (dir) *Language and Social Situations.* Springer Series in Social Psychology. Springer, New York, NY. https://doi-org.docelec.univ-lyon1.fr/10.1007/978-1-4612-5074-6_2

Delbos, G. et Jorion, P. (1990). *La transmission des savoirs.* Paris : Éditions de la Maison des sciences de l'Homme.

De Ricqlès A. et Padian, K. (2009). Quelques apports à la théorie de l'Évolution, de la « Synthèse orthodoxe » à la « Super synthèse évo-dévo » 1970–2009 : un point de vue. *Comptes Rendus Palevol, 8, 2*-3, 341-364. Académie des sciences - Elsevier-Masson.

Egan, K. (1987). Literacy and the oral foundations of education. *Harvard Educational Review, 57*, 445–471.

Fortin, C. (2000). Les causes de l'évolution. Dans Les formes de causalités dans les sciences de la vie et de la terre. *Documents et travaux de recherche en éducation*, 41, 81–101.

Fortin, C. (2009). La métaphore de la parenté est-elle un obstacle à l'idée d'évolution. Dans Coquidé, M. and Tirard, S. (Dir.) *Évolution du vivant*, un enseignement semé d'embûches? (129–134) Vuibert-Adapt.

Fortin, C. (2011). L'enseignement de la théorie de l'évolution dans le secondaire: Quelques enjeux didactiques. Dans T. Heams, P. Huneman, G. Lecointre et M. Silberstein (dir) *Les mondes darwiniens – l'évolution de l'évolution* (71–88). www.materiologiques.com.

Gayon, J. (2009). Mort ou persistance du darwinisme ? regard d'un épistémologue. *Comptes Rendus Palevol, 8, 2-3,* 321-340. Académie des sciences - Elsevier-Masson.

Gobert, J. (2014). Processus d'enseignement-apprentissage de raisonnements néodarwiniens en classe de sciences de la Vie et de la Terre. [Thèse de doctorat] Université de Caen Basse- Normandie.

Gould, S.J., (2006 [2002]). *La structure de la théorie de l'évolution*. (M. Blanc, Trad). Gallimard.

Gregory, T. R. (2009). Understanding Natural Selection: Essential Concepts and Common Miscon- Ceptions. *Evolution: Education and Outreach 2 (2*), 156–175.

Huneman, P. (2011). Sélection. Dans T. Heams, P. Huneman, G. Lecointre et M. Silberstein (dir.), *Les mondes darwiniens - L'évolution de l'évolution* (71-88). Editions matériologiques. www.materiologiques.com

Jacobi D. (1999). La communication scientifique : discours, figures, modèles. Presses Universitaires de Grenoble.

Kampourakis, K. (2020). *Understanding Evolution*. Cambridge University Press.

Laland, K., Uller, T., Feldman, M., Sterelny, K., Muller, G.B., Moczek, A., Jablonka, E., Odling-Smee, J., Wray, J.A., Hoekstra, H.E. et al. (2014). Does evolutionnary theory need a rethink? *Nature, 514,* 161–164.

Larivaille, P. (1973). Perspectives et limites d'une analyse morphologique du conte. Pour une révision du schéma de Propp. Documents de travail et prépublications, Centre de recherches de langue et littérature italiennes. Nanterre : Université Paris X.

Lhoste, Y., Boiron, V., Jaubert, M., Orange, C., et Rebière, M. (2011). Le récit : un outil pour prendre en compte le temps et l'espace et construire des savoirs en sciences ? *RDST*, 4, 57-82.

Lhoste, Y. (2017). Epistémologie et didactique des SVT – Langage, apprentissage, enseignement des sciences de la vie et de la Terre. Presse universitaire de Bordeaux.

Nouvel, P. (2011). *La philosophie des sciences*. Presses Universitaires de France.

Olander, C. (2008). The reasoning of students aged 11–16 about biological evolution. Dans *Biology in Context: Learning and Teaching for the Twenty-First Century*, Hammann, M., Reiss, M., Boulter, C., Tunnicliffe, S.D. (eds). Institute of Education, London.

Orange, C. (1997). Problèmes et modélisation en biologie. Quels apprentissages pour le lycée ? PUF

Orange Ravachol, D. (2017). Récits des élèves et récits des scientifiques dans les sciences de la nature, Cahiers de Narratologie [En ligne], 32. DOI 10.4000/narratologie.7838.

Orange Ravachol, C. et Guerlais, M. (2005). Construction de savoirs et rôle des enseignants dans une situation de débat scientifique à l'école élémentaire : comparaison de deux cas. *Actes du 5e Colloque International Recherche(s) et Formation*, Nantes.

Paulin, F., Charlat, S. et Triquet, E. (2018). Les sciences historiques : un impensé épistémologique dans l'enseignement de l'évolution. *Recherche en Education, 32,* 18-31.

Paulin, F., Zabel J., Bruguière, C. (2022, Aout). Narrative Explanations and Temporality of Natural Selection : A Case study in a French Grammar School. [communication] ERIDOB, Nicosie, Chypre.

Pigliucci, M. (2013). The nature of evolutionary biology: At the borderlands between historical and experimental science. Dans Kampourakis, K. (Ed.). T*he Philosophy of Biology: A Companion for Educators* (87–100). Springer.

Ricoeur, P. (1983). *L'intrigue et le récit historique*. Éd. du Seuil.

Toulmin S. (1958). *The uses of argument*. Cambridge University

Triquet, E. (2005). La littéracie muséale. *Mémoire HDR*, Université de Dijon.

Van Brederode, M. (2019). Les textes de savoirs dans les cahiers de SVT des élèves de 6e. Problématisation et inégalités: *Recherches en didactiques*, *28*(2), 89-100. https://doi.org/10.3917/rdid.028.0089

Viennot, L. (2003). *Raisonner en physique : La part du sens commun* (1.éd., 2. tirage). De Boeck.

Zabel, J. et Gropengießer, H. (2015). What can Narrative contribute to Students' Understanding of Scientific Concepts, e.g. Evolution Theory ? *Journal of the European Teacher Education Network*, *10*, 136-146.

Zabel J., Bruguière, C., Paulin, F et Zdunek, J. (2021, septembre). The narrative framework applied to evolution learning: epistemological and didactic implications. [communication] ESERA, Braga, Portugal.

Apport des analyses langagières à un cadre aux références essentiellement épistémologiques : le cadre de l'apprentissage par problématisation

Orange Christian [(1)], Orange Ravachol Denise [(2)]
[(1)] CRSE – Université Libre de Bruxelles (Belgique) ; CREN, EA 2661 – Nantes Université (France)
[(2)] CIREL ULR 4354 – Université de Lille (France)

Résumé

Le cadre de l'apprentissage par problématisation s'est développé à partir de choix épistémologiques et idéologiques. Il donne cependant une grande importance aux activités langagières et à leurs analyses. Cette communication s'intéresse à deux processus essentiels dans l'accès à des savoirs problématisés : les débats scientifiques sur des problèmes explicatifs et la mise en texte, dans le travail de la classe, de savoirs gardant trace de la problématisation. Il s'appuie pour cela sur deux études de cas en fin de primaire.

Le cadre de l'apprentissage par problématisation (Fabre et Orange, 1997 ; Orange, 2012 ; Doussot et al., 2022) s'est construit selon un double point de vue, épistémologique et idéologique. Épistémologiquement, il s'agit de ne pas réduire les savoirs aux solutions des problèmes : c'est l'exploration et la délimitation des solutions possibles et les raisons qui en découlent qui constituent le savoir et lui donnent sa dimension critique. D'où l'importance

donnée à la construction de nécessités, c'est-à-dire aux conditions que doit remplir toute explication acceptable.

Le point de vue idéologique pose que si un savoir mérite d'être enseigné à l'Ecole, c'est par son agressivité théorique, c'est-à-dire sa capacité critique vis-à-vis des solutions possibles des problèmes, et l'accès qu'il permet à de nouvelles formes de pensée (Astolfi, 2008).

Les travaux dans ce cadre ont alors deux grandes visées :

- l'étude des conditions de possibilité de l'accès des élèves à des savoirs problématisés ;
- la caractérisation des savoirs scolaires problématisés possibles.

Ils ne portent donc pas sur des situations ordinaires ni sur des « séquences modèles ». Ils relèvent d'une didactique critique s'appuyant sur des études de cas de type « séquences forcées » (Orange, 2010) : ce sont des recherches au sein d'une équipe regroupant didacticiens et enseignants dans le but d'explorer de nouveaux possibles didactiques. Ces recherches sont nécessairement collaboratives car cette exploration, si elle se fait dans un cadre didactique précis - le cadre de l'apprentissage par problématisation - ne peut pas s'appuyer uniquement sur les savoirs didactiques disponibles mais doit intégrer les expertises des enseignants et des chercheurs.

Les fondements du cadre de l'apprentissage par problématisation ne font pas explicitement référence au langage, mais ils refusent la séparation entre savoirs et pratiques des savoirs : les savoirs sont des pratiques, actuelles ou potentielles, y compris langagières. Par ailleurs les savoirs scientifiques et les savoirs scientifiques scolaires possèdent une forme textuelle (Rey, 2002, 2005), sans s'y réduire. Il vient donc que l'étude de la problématisation des élèves en classe de sciences passe nécessairement par l'analyse de leur travail langagier.

Nous voulons, dans cette contribution, décrire comment des outils relevant des sciences du langage se sont progressivement introduits dans le développement du cadre de l'apprentissage par problématisation en sciences de la vie et de la Terre et discuter en quoi

ils aident à comprendre la problématisation des élèves selon les deux visées rappelées plus haut[5].

Nous le ferons en distinguant deux types d'études qui, d'une certaine façon, se sont succédés mais qui, surtout, se complètent :

- d'une part, l'étude des débats scientifiques en classe ; ceux-ci ont en effet été très tôt des objets d'étude privilégiés dans ce cadre, car ils sont le moment où le travail du problème par la classe est le plus visible ;
- d'autre part, l'étude de la mise en texte d'un savoir problématisé, condition nécessaire d'une pratique de savoirs scientifiques.

Analyses langagières des débats scientifiques en classe

Dès le début du développement du cadre de l'apprentissage par problématisation, les débats scientifiques en classe ont été au centre des recherches. Peut-être y avait-il, dans un premier temps, l'idée qu'ils étaient le moment essentiel de la problématisation, idée que nous avons complétée depuis, notamment par l'attention donnée à la mise en texte ; mais surtout, les débats mettent particulièrement au jour le travail de problématisation des élèves. Dans les séquences forcées que nous étudions, les débats portent très généralement, directement ou indirectement (voir plus bas, en deuxième partie, la notion de « caricatures »), sur des productions d'élèves aux prises avec un problème explicatif.

L'étude des débats a d'abord cherché à repérer les argumentations développées par les élèves pour rejeter ou accepter telle explication, mais sans mobiliser d'outils de sciences du langage précis (Orange, 2000). La caractérisation du processus de problématisation de la classe lors d'un débat a ainsi conduit à construire des « espaces des contraintes en jeu » (ECJ) représentant la façon dont le travail sur les nécessités était engagé. La figure 2 donne un exemple (Orange, 2012) d'un « espace de contraintes en jeu » du débat en classe de CM1-CM2 sur la nutrition humaine autour de productions de groupe (un exemple est donné en

[5] Nous nous en tenons ici aux travaux menés par notre équipe ; des travaux autres et complémentaires ont été menés par l'équipe du Lab-E3D. Voir Lhoste (2017).

figure 1) tentant de répondre à la question : « explique comment ce que tu manges peut-il te donner des forces ».

Cycle 3

Le hamburger et les frites descendent dans un tuyau appelé l'œsophage vers l'estomac. Après certaines nourritures descendent dans le tuyau des excréments. Les autres partiront dans les tuyaux vers les muscles.

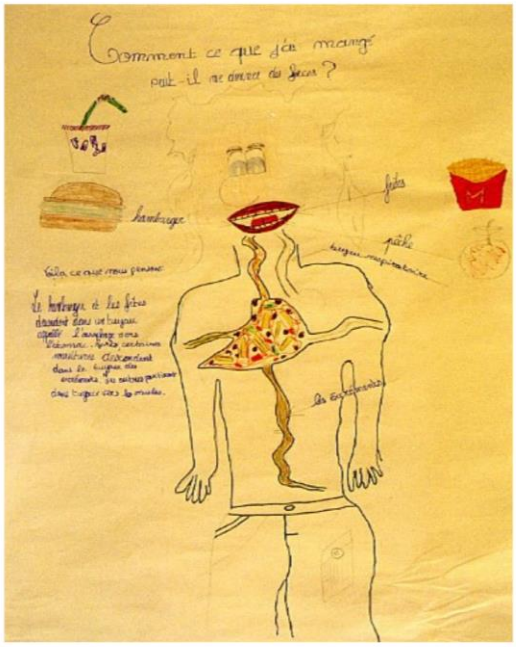


Figure n°1 : Une des productions de groupe (CM1-CM2) sur la nutrition (Orange, 2003)

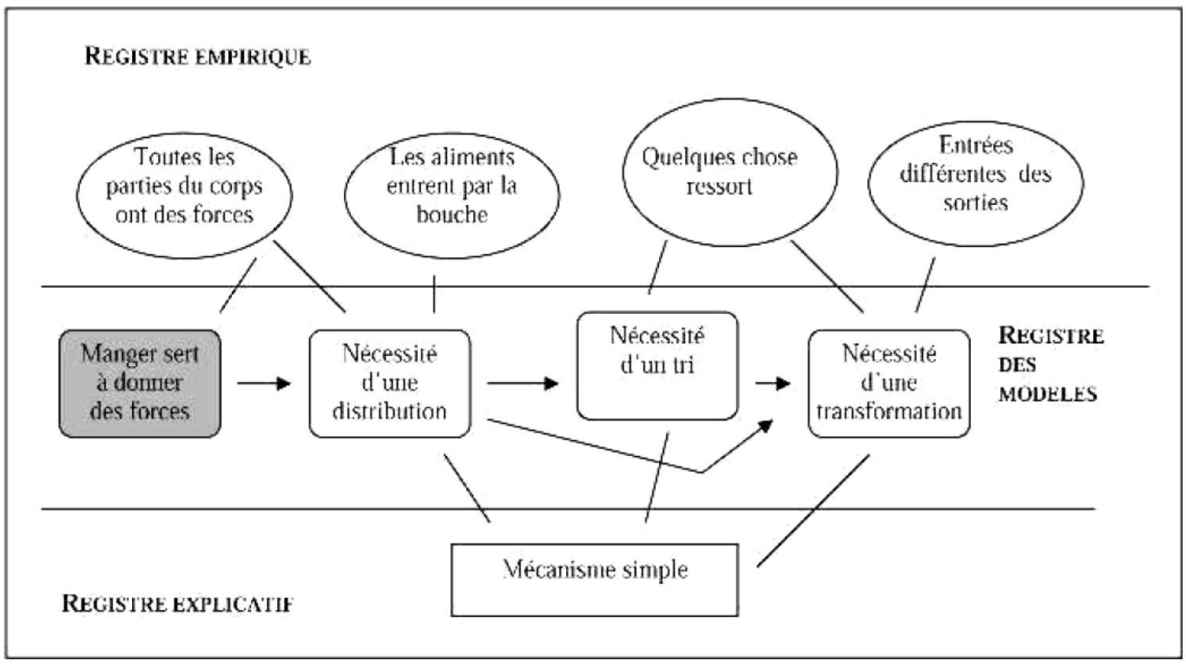


Figure n°2 : Espace de contraintes en jeu. Débat sur la nutrition CM1-CM2 (Orange, 2012)

L'organisation de ces espaces de contraintes s'appuie sur une schématisation de la modélisation en sciences (Orange, 1994), complétée à partir du schéma proposé par Martinand (1992) lors des recherches associatives INRP-LIREST sur la modélisation au tournant des années 1990. Le point de vue est donc essentiellement épistémologique et les argumentations des élèves sont identifiées selon les registres épistémologiques qu'elles mobilisent : registre empirique, registre des modèles, registre explicatif (Orange, 2000).

Cependant, progressivement, des outils venant des travaux sur l'argumentation et en sciences du langage ont été mobilisés dans le développement du cadre de l'apprentissage par problématisation, lors notamment de collaborations avec des chercheurs en sciences du langage et didactique du Français de Bordeaux : Jean-Paul Bernié, Maryse Rebière et Martine Jaubert.

Il s'agit ici d'expliquer avec quelles intentions, et de discuter ce que ces outils peuvent apporter au développement du cadre de l'apprentissage par problématisation ; nous prendrons, pour leur complémentarité, trois exemples d'études langagières à partir du cas sur la nutrition déjà évoqué.

Fondements et schèmes argumentatifs.

Prenons un exemple d'argumentation lors du débat sur la nutrition humaine évoqué ci-dessus ; il concerne une critique de la production reproduite en figure 1.

> Elles ont oublié de dire que ça trie parce que sinon il y a de la mauvaise nourriture qui va dans les muscles

Cette argumentation, comme d'autres semblables qui la précèdent, est retenue par le chercheur dans sa construction de l'espace des contraintes en jeu ci-dessus (figure 2) en ce qu'elle fait intervenir des contraintes empiriques (entrée des aliments par la bouche, sortie des excréments…) et une nécessité déjà repérée (nécessité d'une distribution) pour identifier une autre nécessité : la nécessité d'un tri.

Si maintenant on regarde comment cette argumentation est construite, à partir d'un point de vue monologal de l'argumentation - schéma de Toulmin (1993), avec la notion de garantie et de fondement ; ou ce que dit Plantin (2005) des schèmes argumentatifs - on est conduit à chercher en quoi le fait que « les mauvais aliments vont dans les muscles » disqualifie, pour les élèves (ils en semblent tous d'accord) l'explication proposée par le groupe (figure 1). Il s'agit donc de rechercher des implicites dans les argumentations qui font qu'elles sont

comprises et acceptées par les élèves de la classe. Voici les schèmes argumentatifs que l'on peut inférer de l'argumentation prise ici en exemple, en la remettant dans le contexte de l'ensemble du débat où d'autres argumentations développant la même idée circulent :

- il n'est pas concevable pour les élèves que le bon et le mauvais restent mélangés dans le corps ; ni que le mauvais circule normalement dans notre corps ;
- cela correspond à un *topos*, un lieu commun (« on ne mélange pas les torchons et les serviettes… ») renforcé par une survalorisation des qualités propres des aliments, un vitalisme naïf et un raisonnement intra-objectal (Piaget et Garcia, 1983) s'ancrant dans la pensée commune.

Ce travail sur les schèmes explicatifs, qui consiste donc à les expliciter en misant sur la cohérence du discours des élèves[6], est d'autant plus intéressant qu'une des visées d'un apprentissage par problématisation, comme nous le rappelions plus haut, est de faire accéder les élèves à de nouvelles formes de pensée, donc notamment de les conduire à dépasser leurs schèmes explicatifs usuels. Cela correspond, dans notre cadre, à une identification de leur registre explicatif (REX) pour ce problème de nutrition et donc au repérage des ruptures qu'il leur faut réaliser et des obstacles qu'ils doivent dépasser.

La dynamique du débat

Les espaces de contraintes en jeu (ECJ, voir figure 2) mettent en avant les points importants du débat dans le travail des nécessités pour tel problème explicatif (ici la nutrition humaine) ; ils représentent ce que l'on peut nommer un « niveau de problématisation », qui serait différent pour un débat dans le secondaire où, par exemple, les aspects chimiques seraient convoqués. On les construit à postériori (c'est leur fonction première) pour décrire ce que le débat a produit. On peut aussi en construire à priori - ECJ potentiels ou possibles - pour anticiper ce qui est attendu d'un débat, à tel niveau scolaire. Quoi qu'il en soit, ces espaces de contraintes disent peu de chose de la dynamique du débat, si ce n'est des enchaînements entre nécessités, représentés par les flèches (voir figure 2). En effet le choix y est fait de

[6] Cela peut être complété et précisé par des entretiens avec les élèves.

s'affranchir le plus possible de la cinétique propre du débat pour se focaliser sur ce qu'il a produit ou peut produire.

En fait, un ECJ, construit à postériori, ne s'appuie que sur une petite partie des interventions des élèves. Mais cela ne veut pas dire que tout le reste du débat ne sert à rien dans le travail de problématisation. Deux approches complémentaires permettent de le comprendre et de penser plus largement la dynamique du débat.

La première consiste à repérer qu'une partie importante des échanges ne débouche pas directement sur une argumentation mettant au travail une nécessité. Cependant, ces échanges sont essentiels car ils permettent de préciser les modèles présentés et de dépasser certains malentendus, conditions nécessaires pour que, au bout de ces négociations de schématisation (Grize, 1997), les argumentations porteuses de nécessités puissent être développées et reçues par la classe.

Ainsi, l'explication du groupe reproduite en figure 1 subit un certain nombre de critiques concernant le fait qu'elle ne semble pas représenter de « broyage » des aliments dans l'estomac. Par exemple, Jennifer remarque :

> ils montrent directement que ça descend et que c'est pas broyé (suit de la main sur le dessin jusqu'à l'estomac). Et après ça va directement vers les muscles (montre un tuyau de côté).

Cela conduit un membre du groupe (Juliette) à compléter leur explication et à l'expliciter pour le reste de la classe :

> (montre sur le schéma) Le temps que ça passe dans les muscles, ça commence à se broyer un peu plus parce que ça secoue partout. Et puis dès que ça descend vers les muscles, c'est carrément broyé (montre dans le bras gauche du dessin). Là on a fait des trucs (montre l'estomac) pour dire que ça … Ça tourne un peu (montre en tournant sur l'estomac du dessin) et puis ça va broyer et de plus en plus (montre un tuyau latéral) ça va terminer …

La classe peut alors discuter de manière plus précise à partir de cette version explicitée de l'explication du groupe.

La seconde de ces approches, en référence au trilogue argumentatif de Plantin (1996), consiste à repérer les épisodes fortement argumentatifs, où, soit une thèse est nettement discutée, soit plusieurs thèses s'affrontent. Cela ne concerne donc pas l'ensemble du débat mais ne se limite pas, comme dans la construction des ECJ, à quelques argumentations : celles-ci sont replacées dans leur contexte dynamique d'échanges où l'on peut repérer les

rôles argumentatifs des élèves : proposant, opposant, tiers (ibid.), le tiers étant « celui qui assure en particulier la stabilité de la question », qui « maintient le doute ouvert afin de pouvoir se prononcer en connaissance de cause » (Plantin, 2005, p. 64-65). Une telle analyse peut se traduire par un schéma de structure argumentative (Orange et al., 2008) : la figure 3 correspond à une telle structure d'un épisode du débat portant sur la production de groupe de la figure 1. Dans un tel schéma, ce qui correspond à la proposition d'une thèse et à sa défense (notamment par des contre-objections : Cob) est placé sur la même verticale. Les flèches simples signalent une relation d'accord et de reprise ; les flèches barrées une opposition.

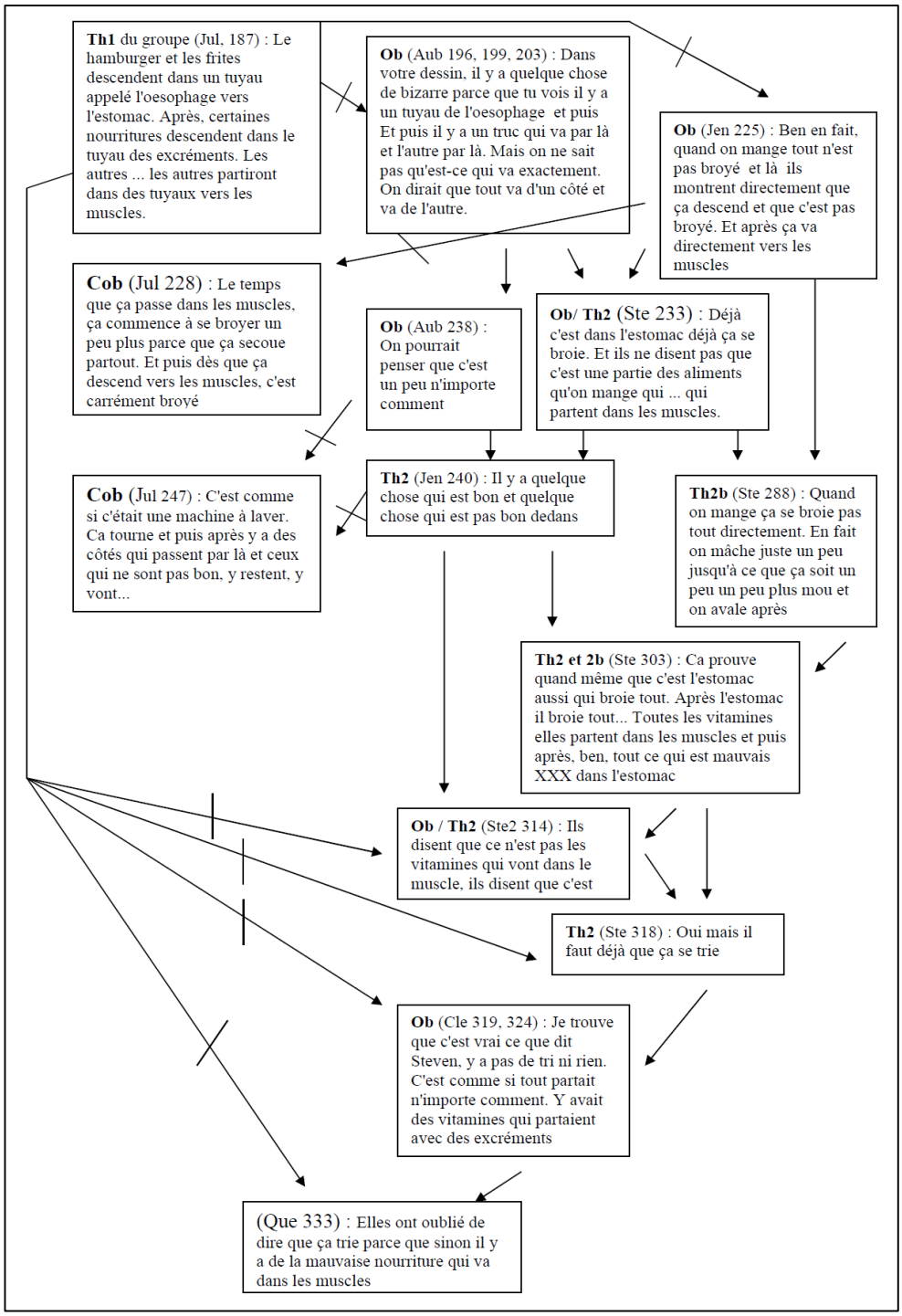


Figure n°3 : Structure argumentative d'un épisode du débat sur la nutrition, CM1-CM2

Ce type d'analyse permet de décrire les rôles argumentatifs que jouent les élèves et comment ils peuvent passer d'un rôle à un autre : certains, comme Steven (Ste) vont d'abord prendre le rôle d'opposant (233) à la thèse proposée par l'affiche avant d'exposer une autre thèse (303) ; un autre, Quentin (Que, 333), tout en se positionnant comme opposant, propose une

synthèse des critiques. On voit ainsi comment des argumentations porteuses de nécessités, par exemple la dernière (Que, 333), sont le fruit d'échanges qui alternent argumentations critiques et négociations de schématisation par reprise et modification d'énoncés précédents. C'est cet entrelacs dynamique de critiques et de reprises qui précisent et se complètent, qui permet l'avancée de la problématisation. Il apparaît alors qu'un débat scientifique où l'on tente de comprendre ce qui est possible, ce qui ne l'est pas et donc, indirectement, ce qui est nécessaire (le contraire de ce qui est impossible), prend nécessairement du temps, le temps qu'il faut à ces négociations et à la mise en forme des argumentations.

Ces analyses montrent également que, si les élèves prennent bien les rôles de proposant et d'opposant, ils portent beaucoup plus rarement celui de tiers. Dans les structures argumentatives (figure 3), le choix est fait de se focaliser sur les argumentations des élèves et de ne pas inclure les interventions de l'enseignant. Cependant on constate, quand on s'intéresse à ses interventions, que c'est généralement lui qui joue ce rôle de tiers en faisant le point sur le débat ou en relançant telle ou telle question, par exemple en 320 : « Qu'est-ce que vous pensez de cette idée de tri dont parle Steven ? » pour prolonger la discussion autour de l'idée de tri qui vient d'apparaître dans le débat. D'une part, le rôle que joue ainsi l'enseignant est important car il aide au développement du débat et à la problématisation des élèves, ce qui ne serait pas le cas s'il se positionnait comme proposant ou opposant ; mais, d'autre part, il serait intéressant que les élèves apprennent à jouer ce rôle de tiers car il est particulièrement porteur de problématisation en ce qu'il fait le point sur les thèses et les arguments en présence.

Débat, genre premier et secondarisation

Les débats scientifiques en classe sont très généralement de genre premier (Bakhtine, 1984), c'est-à-dire totalement inscrits dans le contexte de la discussion. Dit autrement, ce qui s'échange n'est guère compréhensible que dans la dynamique et les références implicites à ce qui s'est dit avant. C'est d'autant plus vrai lorsque, lors des débats, les élèves pointent des détails d'une affiche ou d'un objet présent (le propre membre des élèves dans un débat sur l'articulation, par exemple).

Cependant un travail de secondarisation (Jaubert et Rebière, 2007 ; Jaubert, 2007) partiel est à l'œuvre, ne serait-ce que pour lever des ambiguïtés, par dénomination des choses et/ ou des processus dont on parle. Par exemple, dans l'affiche présentée en figure 1, il est question de « certaines nourritures » quand dans le débat viennent assez rapidement des qualifications

« bon », « pas bon » « mauvais » (figure 3) et des dénominations (vitamines). Toujours dans cet exemple, il apparaît que la critique qui prend sa forme définitive en (333) - « Elles ont oublié de dire que ça trie parce que sinon il y a de la mauvaise nourriture qui va dans les muscles » - et qui met en avant la nécessité d'un tri pour les élèves, est déjà présente dans l'intervention d'une autre élève (196), mais dans une forme moins secondarisée, notamment sans référence explicite au processus de tri :

> Dans votre dessin, il y a quelque chose de bizarre parce que tu vois il y a un tuyau de l'œsophage et puis. Et puis il y a un truc qui va par là et l'autre par là. Mais on ne sait pas qu'est-ce qui va exactement. On dirait que tout va d'un côté et va de l'autre. C'est comme ça, ça fait bizarre (Elle va au tableau près de l'affiche).

Dans le débat des mots sont progressivement posés sur les choses et le processus (tri), jusqu'à l'intervention de Quentin (333).

Cette secondarisation a un réel intérêt didactique car elle contribue à fixer les termes de la problématisation de la classe. Cependant le genre premier et ses caractéristiques jouent parallèlement un rôle important dans le débat, pour la dynamique des échanges et des idées qu'ils permettent, en suspendant une dénomination ou une description précise. Nous en voulons pour preuve deux considérations de nature différente :

- dans les discussions (orales) entre scientifiques qui collaborent dans le travail d'un problème (voir par exemple Jacob, 1987 ; ou Latour et Woolgar, 1988), les idées émergent souvent d'échanges de genre premier.
- Lors de débats scientifiques en classe, les enseignants les plus experts renoncent, en acte, à faire des synthèses et à les noter au tableau ; ils donnent à postériori comme raison le choix de privilégier la dynamique du débat.

Cela rend nécessaire de penser, au-delà du débat, ce qui va conduire à la mise en texte de savoirs problématisés (voir la partie suivante).

Conclusion sur les débats

Quand les analyses épistémologiques font comprendre ce qui se joue lors d'un débat en classe dans la problématisation d'un problème explicatif, le recours complémentaire à des outils d'analyse du discours, compatibles avec le cadre de l'apprentissage par problématisation, permet de préciser le fonctionnement de ces débats et donc les conditions qui permettent à la classe de problématiser. Il apparaît alors que c'est dans l'ampleur du

débat, avec ses hésitations, ses retours, ses reprises, que se joue le travail des nécessités. Pour que cela avance, les élèves doivent y prendre, tout à tour, plusieurs rôles argumentatifs : proposant, opposant, et idéalement tiers. Le débat doit aussi passer par des phases de genre premier, qui aident au développement des idées et par des phases de secondarisation qui permettent de clarifier les argumentations.

Cependant, il apparaît encore que si les moments de débat sont indispensables pour engager la problématisation de la classe, ils ne sont pas suffisants : les nécessités travaillées n'y sont pas instituées car la secondarisation y est en tension avec la dynamique.

Pour ces raisons, en partie repérées par des outils d'analyse langagière, il est nécessaire d'étudier la possibilité d'aller vers un texte de savoirs problématisés qui n'est pas une simple inscription de ce que le débat a produit mais participe pleinement à la poursuite de la problématisation.

Apprentissage par problématisation et mise en texte de savoirs problématisés

Nous allons discuter maintenant du travail langagier nécessaire pour aller vers un texte de savoirs problématisés à partir d'un cas en fin de primaire. Nous y verrons à la fois les difficultés rencontrées et des tentatives pour les dépasser.

Du cas étudié aux difficultés rencontrées dans la mise en texte de savoirs problématisés

Ce cas concerne l'étude de l'articulation du coude par une classe de CM1-CM2 en zone d'éducation prioritaire (Orange et Orange Ravachol, 2007). L'objectif de la recherche est de discuter des conditions de possibilité de la production d'un texte de savoirs problématisés à cet âge et pour ce problème. La séquence, construite en référence à des recherches antérieures, est élaborée de séance en séance par l'équipe collaborative, à partir de ce qu'a produit la classe et en mobilisant les expertises de l'enseignant et des chercheurs (séquence dite forcée, Orange, 2010).

L'analyse à priori permet de définir la problématisation visée, par le travail de trois nécessités :

- Nécessité d'un mécanisme assurant la cohésion du membre.
- Nécessité d'un mécanisme lui permettant de se plier.

- Nécessité d'un mécanisme l'empêchant de plier dans tous les sens.

Productions initiales et premier débat (séances 1 à 3)

Individuellement puis en groupes les élèves répondent, sur une double silhouette d'un membre supérieur, plié et tendu, à la consigne : « Fais le schéma de ce qu'il y a dans le bras lorsqu'il est en position 1 et en position 2. »

Puis, à partir des productions des groupes (figure 4), un premier débat est réalisé. Des argumentations correspondant aux trois nécessités visées y sont produites, mais la classe n'en garde aucune trace. C'est un point général : dans les débats qui visent une problématisation de la classe, les enseignants experts renoncent à prendre des notes au tableau ; ils donnent à postériori comme raison la priorité accordée à la dynamique du débat. Ce choix renvoie à ce que nous disions dans la partie précédente sur les tensions entre le processus de secondarisation et la dynamique du débat.

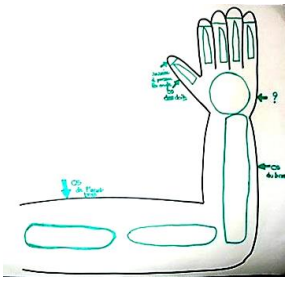
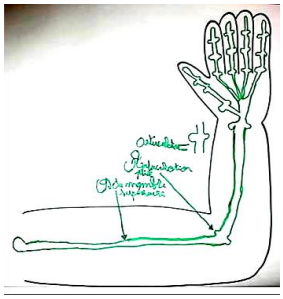
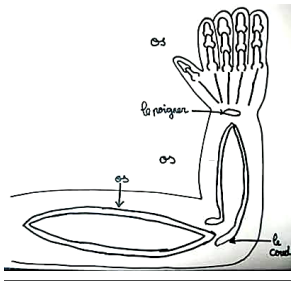
		
Groupe 1	Groupe 2	Groupe 6

Figure n°4 : Trois affiches de groupes (séances 2 et 3) pour le membre plié

Le problème didactique de la mise en texte d'un savoir problématisé

Nous sommes devant le problème didactique suivant :

- le débat permet d'engager la problématisation de la classe lors d'échanges argumentatifs :
- il ne subsiste aucune trace collective de ce que produit le débat ;
- une trace collective est pourtant indispensable car tout savoir scientifique ne peut exister sans un texte de savoir ;
- cette trace ne peut pas être un simple texte « propositionnel » (Delbos et Jorion, 1990) : elle doit institutionnaliser le travail de problématisation.

Il faut alors penser la construction de ce texte comme partie essentielle du processus de problématisation de la classe.

Une tentative pour aller vers un texte de savoir problématisé

Il s'agit de mettre en place des dispositifs didactiques conduisant la classe à développer la problématisation entamée lors du débat et à construire un texte de savoir gardant trace des nécessités construites. Nous allons présenter celui élaboré lors de cette séquence. Il n'est pas question de le penser comme le seul possible ou le plus pertinent. Cependant, les choix faits pour la mise en cohérence des questions de recherche, portant sur les conditions de mise en texte d'un savoir problématisé, avec les potentialités de la classe et les expertises de l'enseignant et des chercheurs, doivent nous faire avancer sur ces questions.

Ecrits individuels et débat sur des « caricatures » (séance 4)

Quatre caricatures, abstraites des productions des groupes, sont proposées aux élèves (figure 5) dans la séance qui suit le premier débat.

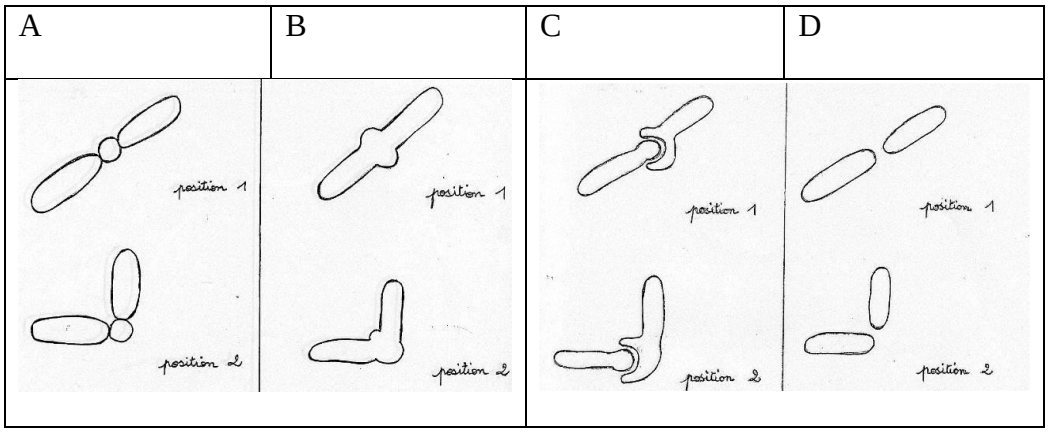


Figure n°5 : Les 4 « caricatures » soumises à la critique des élèves

Les élèves, individuellement par écrit puis collectivement (deuxième débat), expliquent lesquelles de ces représentations ne peuvent pas fonctionner et pourquoi. La séance se termine par un nouvel écrit individuel du même type que le premier.

Travail sur les argumentations produites (séance 5)

Neuf argumentations de non-fonctionnement (« raisons »), abstraites des productions individuelles de la séance 4, sont proposées aux élèves (figure 6).

Ça ne fonctionne pas parce que ce serait bloqué.	Ça ne fonctionne pas parce qu'il n'y a rien entre les deux os et parce que le bras serait tout mou.	Ça ne fonctionne pas parce que les deux parties sont fusionnées par un gros truc qui les empêche de se plier.
Ça ne fonctionne pas parce que le bras peut bouger partout.	Ça ne fonctionne pas parce que les os sont séparés et que les os vont tomber.	Ça ne fonctionne pas parce que le bras peut plier dans tous les sens.
Ça ne fonctionne pas parce que les os ne sont pas reliés, ne sont pas attachés à quoi que ce soit.	Ça ne fonctionne pas parce que si la peau s'arrache, les os vont tomber.	Ça ne fonctionne pas parce qu'il n'y a pas de blocage.

Figure n°6 : Les 9 argumentations à classer

En groupes, les élèves doivent les classer en trois paquets. Les classements sont ensuite discutés collectivement, ce qui aboutit à un texte, sous forme de tableau, des types de raisons rendant impossible le fonctionnement (figure 7).

Ça ne fonctionne pas parce que		
Ça tombe	Ça bloque	Ça bouge dans tous les sens

Figure n°7 : Résultat collectif du classement des raisons

Vers un premier texte de savoir (séances 6 et 7)

Il s'agit maintenant, pour la classe, de comprendre comment est constitué le membre pour que « ça ne tombe pas », « ça ne bloque pas », « ça ne bouge pas dans tous les sens ».

Une recherche en groupes sur des documents non textuels (radios d'articulation, squelette du membre supérieur, schéma de l'articulation du coude), puis une mise en commun et une écriture collective, produisent un premier texte de savoir (figure 8).

Comment c'est dans le bras pour que		
Ça ne tombe pas	Ça ne bloque pas	Ça ne bouge pas dans tous les sens
Car les 3 os sont attachés grâce aux ligaments	Le cubitus aide à faire glisser l'humérus et le radius	L'humérus a un creux adapté à la pointe du cubitus L'humérus a un autre creux adapté à la pointe du radius

Figure n°8 : Un premier texte de savoir

Appui sur des textes « extérieurs » pour poursuivre la mise en texte (séances 8 et 9)

Des textes, extraits et adaptés d'albums documentaires et de manuels (figure 9), sont choisis de façon à ne pas pouvoir être recopiés tels quels dans une colonne du tableau-texte (figure

8). Ils sont proposés aux élèves pour améliorer le premier texte, ce qui donne lieu à un travail individuel, puis par groupes, avant un travail collectif.

Le cubitus a une tête qui enveloppe la tête de l'humérus comme une sorte de crochet. Lorsque l'une ou l'autre des extrémités du crochet vient buter sur la tête de l'humérus, cela bloque le mouvement.

Les os se déplacent les uns par rapport aux autres au niveau des articulations. Le glissement des os est facilité par le cartilage articulaire, très lisse, et par la synovie, liquide réduisant les frottements. Les os sont maintenus entre eux par des ligaments.

Les ligaments relient les têtes des 3 os participant à l'articulation du coude. Le cartilage, tissu résistant et lisse recouvre les têtes des 3 os. Le cartilage est au contact de la synovie qui est un liquide lubrifiant *.
* produit qui facilite le glissement et évite les frottements

Figure n°9 : les textes proposés à la classe pour améliorer le premier texte de savoir (figure 8)

Voici (figure 10), le texte final auquel aboutit la classe.

Comment c'est dans le bras		
… pour que ça tienne	… pour que ça ne bloque pas	… pour que ça ne bouge pas dans tous les sens
A l'endroit de l'articulation du coude, les têtes des 3 os, l'humérus, le cubitus et le radius, sont bien maintenues grâce aux ligaments.	Le cartilage et la synovie aident à faire glisser les 3 os. Les os se déplacent les uns par rapport aux autres : le cubitus et le radius glissent au niveau de la tête de l'humérus.	L'humérus a une tête adaptée aux deux extrémités du crochet du cubitus. Dès que le crochet du cubitus bute contre la tête de l'humérus, cela bloque le mouvement.

Figure n°10 : Le texte de savoir final

Du cas étudié aux conditions de possibilité d'une mise en texte problématisante

Cette séquence ne doit pas être considérée comme la meilleure solution aux problèmes didactiques rencontrés, mais les choix qui y sont faits et les productions que réalisent les élèves, ont un sens. C'est ce sens dont nous pouvons rendre compte selon trois points de vue.

Point de vue épistémique

Entre la séance 3 et la séance 6, le travail proposé aux élèves correspond à des abstractions successives :

- passage d'un travail sur des productions explicatives à une étude de productions dépersonnalisées, abstraites de productions des groupes (caricatures : figure 5) ;
- passage de productions argumentatives sur les caricatures au classement de « raisons » abstraites de ces productions (séance 5) ;
- passage du classement collectif des raisons à un texte-tableau listant ce qui rend le fonctionnement possible (séance 6).

Ce sont autant de dénivellations épistémiques : les savoirs discutés sont de plus en plus abstraits, ce qui correspond aussi à des processus langagiers.

Point de vue langagier

Sur la séquence, il s'agit d'un travail de secondarisation (Jaubert et Rebière, 2005) puisque l'on passe d'argumentations orales, compréhensibles seulement en contexte, à un écrit qui peut être compris hors du contexte et hors de la classe. Cependant ce passage d'un genre premier à un genre second (Bakhtine, 1984) ne se fait pas de façon uniforme : chaque dénivellation épistémique s'accompagne d'un retour au travail individuel ou en groupes donc à des échanges oraux, de genre premier, sur un écrit déjà en partie secondarisé ; ce qui conduit à une nouvelle étape de secondarisation donc de dénivellation discursive (Grize, 1997). C'est un jeu entre secondarisation et recours temporaire à un genre premier qui permet à la classe de prendre en charge les différentes dénivellations épistémiques proposées.

Point de vue didactique

C'est un étayage fort qui séquentialise la problématisation. C'est un effet de toute transposition didactique, qui suppose, comme le note Verret (1975, p. 146) puis Chevallard (1985, p. 57), « la programmation des apprentissages selon des séquences raisonnées ». Notons cependant que les étapes proposées (dénivellations épistémiques et travail langagier) n'ont rien d'élémentaires pour cette classe d'éducation prioritaire qui cependant s'y retrouve. On en a plusieurs indices :

- reconnaissance par les élèves des caricatures comme liées au travail engagé ;
- reconnaissance par les élèves des liens entre les raisons qu'on leur fait classer, et les questions au travail ;
- identification dans des documents fournis d'informations permettant de répondre aux conditions de fonctionnement repérées.

Conclusion

Si le cadre de l'apprentissage par problématisation est centré sur des références épistémologiques et idéologiques, l'activité langagière des élèves y est fondamentale et son étude permet d'éclairer les conditions pour qu'ils accèdent à un savoir problématisé et à sa mise en texte. La prise en compte progressive de points de vue issus des sciences du langage et de l'analyse de discours a permis de mieux comprendre ce qui se joue dans la construction de savoirs problématisés. C'est le cas pour les débats scientifiques où apparaît ainsi toute la complexité de l'activité qu'y développent les élèves mais aussi celle de la conduite de l'enseignant. Ceci permet de proposer des repères pour cette conduite, pour un domaine et un niveau donné : nécessités dont on peut viser la construction, schèmes argumentatifs des élèves attendus et pouvant faire obstacle, importance de laisser toute sa place au travail de genre premier. Il vient aussi que ces débats, pour importants qu'ils sont, ne peuvent suffire au travail de problématisation en classe : celui-ci se poursuit nécessairement tout au long de la séquence et notamment au travers de la mise en texte qui est ainsi à penser comme problématisante et qui demande un long travail[7].

Le travail didactique s'inscrit ainsi dans une succession de situations qui articulent les productions réalisées (dont certaines relèvent d'écrits : textes et/ou schémas) et l'activité des élèves (dont l'activité langagière) : figure 11.

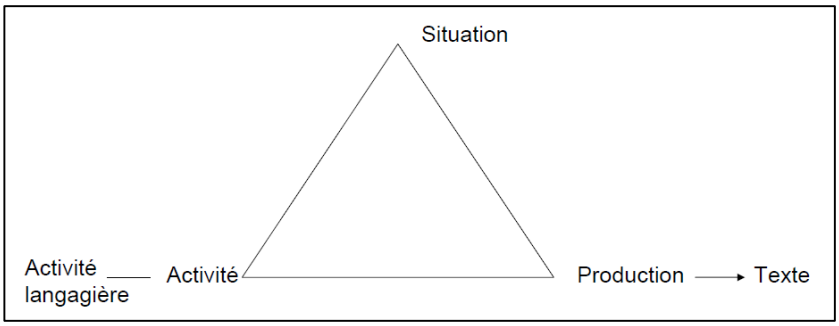


Figure n°11 : Le triptyque situation, production, activité (Orange, 2011)

[7] Les deux cas discutés ici relèvent de la biologie fonctionnaliste. La question du travail langagier et de la mise en texte en biologie et géologie historiques présenterait des spécificités, notamment des formes de raisonnement et donc d'argumentation que nous ne pouvons étudier ici (Orange Ravachol, 2012).

La séquence se pense alors comme une suite de situations reliées entre elles car une situation mobilise des productions langagières de situations précédentes, choisies et éventuellement abstraites par l'enseignant (figure 12).

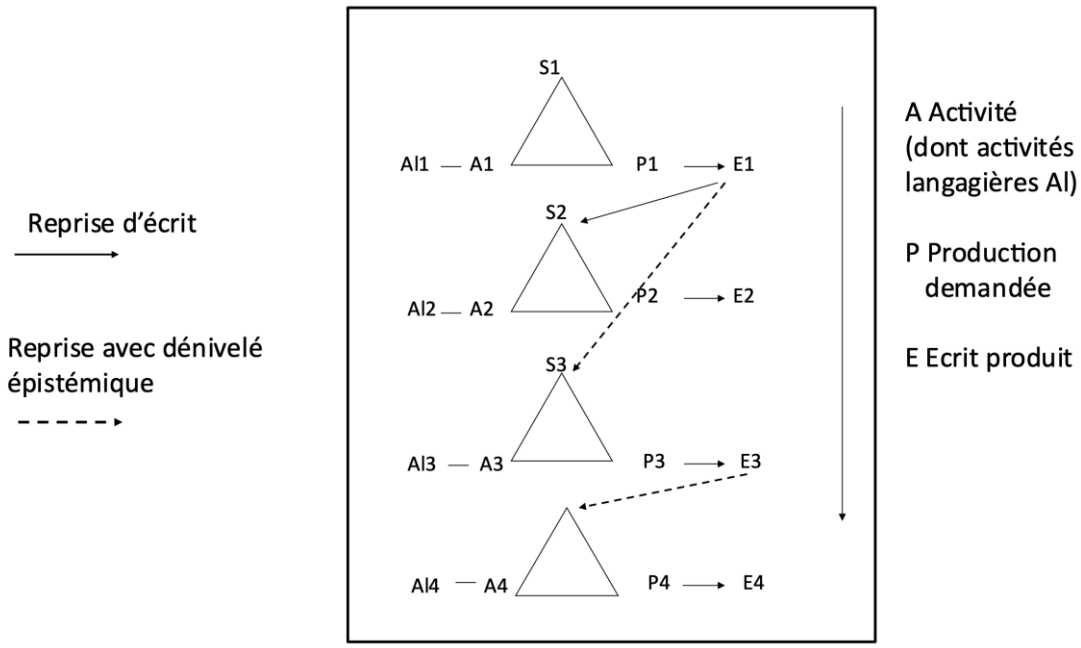


Figure n°12 : Les enchaînements didactiques entre productions d'une situation et situation suivante (ibid.)

Cette suite de situations peut présenter des agencements qui ne sont pas totalement linéaires : ainsi, dans le cas étudié dans la seconde partie, ce sont des productions de la séance 2 (affiches des groupes) et non celles (orales) de la séance 3 (premier débat) qui font le lien avec la séance 4 à travers les caricatures construites par abstraction de productions de la séance 2.

Les enchaînements didactiques représentés en figure 12 valent au-delà des cas présentés ici. Ils ont d'ailleurs été repris et aménagés en didactique des mathématiques, dans le cadre de l'apprentissage par problématisation, par Sylvie Grau (2017, pp. 288 et suivantes ;) : ce qu'elle nomme la PPAP (Problématisation par Analyse des Productions).

Bibliographie

Astolfi, J.-P. (2008). La saveur des savoirs. Disciplines et plaisir d'apprendre. ESF.
Bakhtine, M. (1984) Esthétique de la création verbale. Gallimard.
Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique*. La Pensée Sauvage.
Delbos, G. et Jorion, P. (1990). *La transmission des savoirs*. La Maison des Sciences de l'Homme.

Doussot, S., Hersant, M., Lhoste, Y., et Orange Ravachol, D. (2022). *Le cadre de l'apprentissage par problématisation*. P.U.R.

Fabre, M. et Orange, C. (1997). Construction des problèmes et franchissement d'obstacles. *ASTER*, 24, 37-57

Grau, S. (2017). Problématiser en mathématiques : le temps de l'apprentissage des fonctions affines. Thèse de doctorat en Sciences de l'Education, Université de Nantes, non publiée.

Grize, J.-B. (1997). *Logique et langage*. Ophrys.

Jacob, F. (1987). *La statue intérieure*. Odile Jacob.

Jaubert, M. et Rebière, M. (2007). Émergence d'un concept en didactique du français : la secondarisation. Dans A. Rouchier (dir.), *Didactiques, quelles références épistémologiques ? Actes sur CD Rom du colloque international de l'AFIRSE* – Bordeaux 2 – IUFM, Bordeaux, mai 2005.

Jaubert, M. (2007). Langage et construction de connaissances à l'école : un exemple en sciences. P.U.B.

Latour, B. et Woolgar, S. (1988). *La vie de laboratoire*. La Découverte.

Lhoste, Y. (2017). Epistémologie et didactique des SVT. P.U.B.

Martinand, J.-L. (1992). Présentation. Dans J.-L. Martinand (dir.) *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences.* INRP.

Orange Ravachol, D. (2012). Didactique des SVT, Entre phénomènes et événements. P.U.R.

Orange, C. et Orange Ravachol, D. (2007). Problématisation et mise en texte des savoirs scolaires : le cas d'une séquence sur les mouvements corporels au cycle 3 de l'école élémentaire. Dans J.-M. Dusseau (dir.), *Actes des cinquièmes journées scientifiques de l'ARDIST*, 305-312. La Grande Motte.

Orange, C. (1994). Les modèles, de la mise en relation au fonctionnement. Dans J.-L. Martinand et al. Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation, 25-43, INRP,

Orange, C. (2000). Idées et raisons, construction des problèmes, débats et apprentissages scientifiques en Sciences de la vie et de la Terre. Mémoire présenté pour l'habilitation à diriger des recherches, non publié.

Orange, C. (2003). Débat scientifique dans la classe, problématisation et argumentation : le cas d'un débat sur la nutrition au cours moyen. *ASTER*, 37, 83-107.

Orange, C. (2010). Situations forcées, recherches didactiques et développement du métier enseignant. *Recherches en éducation*, hors-série

Orange, C. (2011). Travail de l'élève et activités langagières. Cours de Master FFAST [document non publié]. Université de Nantes.

Orange, C. (2012). Enseigner les sciences : problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe. De Boeck,

Orange, C., Lhoste, Y. et Orange Ravachol, D. (2008). Argumentation, problématisation et construction de concepts en classe de sciences. Dans C. Plantin et C. Buty (dir.). *Argumenter en classe de sciences (p.* 75-116). INRP.

Piaget, J. et Garcia, R. (1983). Psychogenèse et histoire des sciences. Paris, Flammarion.

Plantin, C. (1996). Le trilogue argumentatif. Présentation de modèle, analyse de cas. *Langue française, 112,* 9-30

Plantin, C. (2005). *L'argumentation*. P.U.F.

Rey, B. (2002). Diffusion des savoirs et textualité. *Recherche et formation, 40,* 43-57.

Rey, B. (2005). Peut-on enseigner la problématisation ? *Recherche et formation, 48,* 91-105

Toulmin, St. (1993). *Les usages de l'argumentation*. P.U.F.

Verret, M. (1975). *Le temps des études*. Honoré Champion.

Comment favoriser un ancrage dans le monde scientifique chez des élèves impliqués dans une démarche d'investigation ?

Un exemple en classe de Terminale S en immunologie

Marzin-Janvier Patricia [(1)], Schneeberger Patricia [(2)], Seixas Mello Paula [(3)]
[(1)] Univ Brest, Univ Rennes, CREAD, F-29200 Brest, France
[(2)] Université de Bordeaux, Laboratoire E3D
[(3)] Universidade Federal do ABC, Centro de Ciências Naturais e Humanas. Brasil.

Résumé

Différentes recherches consacrées au sens donné par les élèves aux activités expérimentales (Marzin-Janvier, 2015) ont montré l'importance de les faire travailler sur la conception d'un protocole expérimental et sa formalisation, dans un contexte de démarche d'investigation. Ces travaux se sont appuyés sur l'étude des productions langagières des élèves (à l'oral et à l'écrit) à la fois pour identifier les raisonnements qu'ils mettent en œuvre et pour suivre la construction progressive de significations partagées. Nous proposons de reprendre ces analyses selon des points de vue empruntés aux sciences du langage en mobilisant les concepts de positionnement énonciatif (Jaubert, Rebière et Bernié, 2012) et de communauté discursive disciplinaire scolaire (Bernié, 2002). Nous prendrons pour exemple une situation dans laquelle les élèves doivent justifier leurs hypothèses (formulées en réponse à un problème scientifique) et nous analyserons leurs pratiques langagières.

Introduction

Différentes recherches consacrées au sens donné par les élèves aux activités expérimentales (Marzin-Janvier, 2015) ont montré l'importance de les faire travailler sur la conception d'un protocole expérimental et sa formalisation, dans un contexte de démarche d'investigation. Dans ce cas, les élèves sont davantage motivés et impliqués dans les situations d'apprentissage qu'ils vivent comme plus authentiques. Ils s'engagent alors dans des discussions portant sur les concepts scientifiques en jeu, les données expérimentales et la critique de leurs expériences. Ils construisent alors des liens entre connaissances et expériences. Ces travaux se sont appuyés sur l'étude des productions langagières des élèves (à l'oral et à l'écrit) à la fois pour identifier les raisonnements qu'ils mettent en œuvre et pour suivre la construction progressive de significations partagées. D'autres études (Millar, 1996 ; Marzin-Janvier, 2013) ont tenté de comprendre comment des élèves produisent des arguments pour interpréter des données expérimentales. Nous prendrons comme exemple une recherche consacrée à la conception et à l'implémentation sur la plateforme LabNbook d'une situation d'apprentissage en immunologie. Les chercheurs ont analysé les écrits produits par plusieurs groupes d'élèves en se référant au modèle de Toulmin (2003) et pour montrer comment cette situation est également l'occasion pour les élèves de s'approprier les manières d'agir-parler-penser spécifiques à la communauté discursive des scientifiques. Dans cette contribution, nous examinons des réponses d'élèves de lycée, en croisant les deux types d'analyse pour déboucher sur des propositions quant à la signification de l'acculturation scientifique.

Cadre théorique et méthodologique

Quand ils produisent des arguments, les scientifiques explorent plus que leurs capacités rhétoriques, ils utilisent des données empiriques pour appuyer la validité de leurs résultats et hypothèses, qui sont connectées aux théories ; ils produisent des arguments pour valider des résultats au sein de la communauté scientifique et de la société (Jiménez-Aleixandre et Erduran, 2007). Plusieurs études, reposant sur l'élaboration de situations didactiques impliquant la production de textes argumentatifs, montrent que cette stratégie d'enseignement favorise l'acquisition de connaissances chez les élèves (Schneeberger et Vérin, 2009). De plus, elles décrivent une amélioration des capacités d'observation, de problématisation, de communication, d'évaluation et de proposition de solutions aux

problèmes socio-scientifiques en lien avec la vie quotidienne des individus (Orange, Lhoste et Orange-Ravachol, 2008).

Ces travaux ont permis de comprendre les modèles de raisonnement mis en jeu par les élèves et de délimiter les étayages nécessaires. Ils mettent en œuvre des approches différentes pour évaluer les productions des élèves. Notre étude vise à comparer deux de ces approches, pour en montrer la complémentarité.

Approche logique avec le modèle de Toulmin.

Toulmin (2003) met en parallèle la logique de l'argumentation avec la pratique discursive dans le domaine du droit. Ainsi, Toulmin propose une structure d'un argument écrit ou parlé qui doit contenir les éléments structurants suivants : le passage entre les données (D) constituées des faits mobilisés et la conclusion (C) est autorisée par des garanties (G), appuyées sur un fondement (F), qui peuvent être qualifiées (Q) ou réfutées (R).

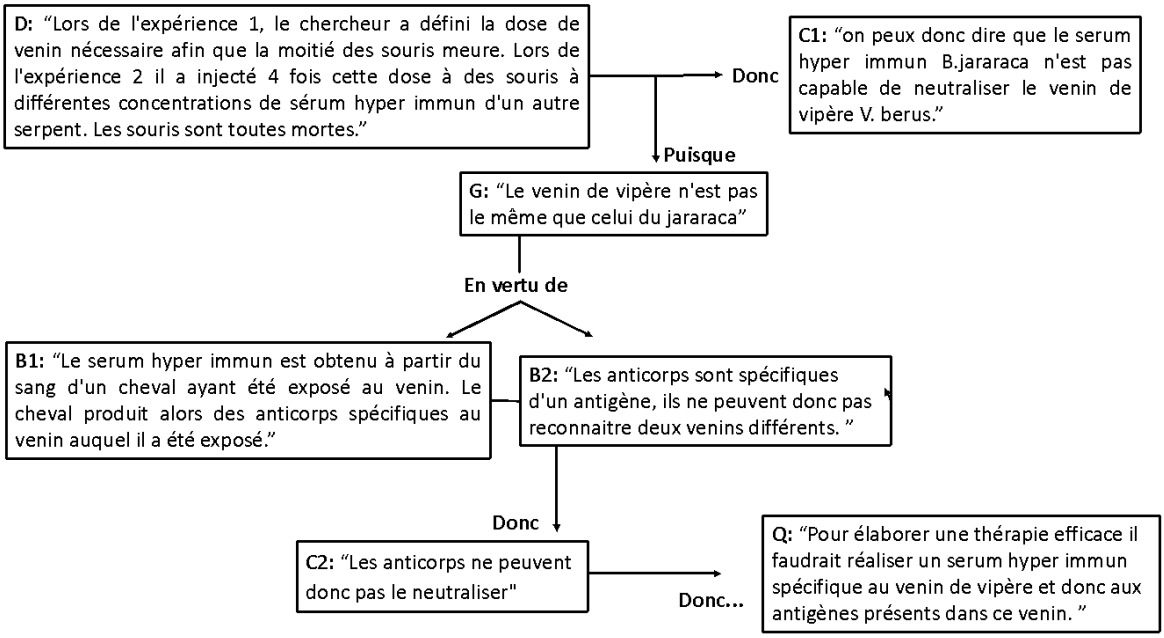


Figure n°1 : Un exemple de schéma argumentatif produit par un groupe d'élèves (E5)

Approche langagière reposant sur des outils développés dans le cadre du laboratoire Lab-E3D de Bordeaux

Dans des travaux récents consacrés à l'écriture de textes explicatifs en sciences au collège (Schneeberger et al., 2022), les chercheurs se sont intéressés aux indices langagiers qui permettent d'évaluer l'inscription de ces textes produits par les élèves dans un espace discursif scientifique, ainsi que la pertinence de leur position énonciative au regard des

savoirs et des pratiques de savoirs (Jaubert, Rebière et Bernié, 2012). Ils ont pu ainsi repéré un ensemble de compétences rédactionnelles mises en œuvre dans l'écriture de ces textes : savoir identifier le paradoxe que pointe la situation proposée et formuler le problème mis à l'étude ; savoir sélectionner des éléments du registre empirique et les désigner dans des termes relevant du champ scientifique ; savoir formuler des propositions qui puissent être soumises à des investigations scientifiques ; savoir produire des énoncés de savoirs qui mettent en lien les raisons produites et différents aspects du problème (contraintes, nécessités) etc.

En outre l'élève doit être capable :

- de construire des énoncés qui rendent compte de la pertinence (ou non) des propositions au regard des pratiques de légitimation des savoirs en cours dans la classe,
- de hiérarchiser les propositions par rapport à la représentation qu'il se fait du savoir et des énoncés attendus.

Nous proposons de croiser ces deux approches pour rendre compte des difficultés rencontrées par les élèves face à la nécessaire articulation des pratiques expérimentales et des pratiques langagières spécifiques aux sciences.

Problématique

L'ancrage dans le monde scientifique exige un travail cognitif et langagier dont rendent compte les textes produits par les élèves, qui peuvent être appréhendés comme « la trace de la réorganisation des rapports entre pensée et langage chez l'apprenant » (Bota, 2018, p.42).

La notion de position énonciative repose sur l'idée que pour élaborer les contenus nécessaires à la réussite de l'activité, l'énonciateur met en œuvre les modes de parler qu'il pense être efficaces et ainsi « il se projette dans une communauté discursive dont les formes d'interaction langagière sont spécifiques » (Jaubert, 2007, p. 295). Dans le cas étudié, cette communauté discursive, en voie de constitution, relève de la sphère scientifique des immunologistes, transposée à la classe de Terminale S.

Dans notre étude, nous faisons l'hypothèse que l'acquisition d'une position énonciative pertinente constitue un levier pour s'engager dans une activité expérimentale qui soit favorable à l'acquisition d'une authentique culture scientifique. Nous cherchons à évaluer

dans quelle mesure les élèves font appel (ou non) à une position énonciative propre au contexte de l'activité proposée. En conséquence nous cherchons à identifier des indicateurs qui permettront de rendre compte de la pertinence du positionnement énonciatif dans les productions écrites argumentatives d'élèves.

Contexte de l'étude

Notre recherche porte sur une étude de cas concernant une situation problème en immunologie, dont l'objectif est d'élaborer une thérapie efficace contre une morsure de serpent. Les élèves des classes observées sont en terminale S dans deux lycées français et ont reçu le même type d'enseignement auparavant. Le corpus est constitué de textes rédigés par les élèves lors des différentes étapes de résolution du problème.

L'annexe 1 présente les situations proposées aux élèves (action de sérums spécifique ou non spécifique d'une toxine de vipère) et les consignes. Les élèves doivent analyser des jeux de données en mobilisant leurs connaissances puis ils doivent rédiger des arguments qui intègrent les données expérimentales et leurs connaissances.

Consignes pour la réalisation du compte-rendu

Question 1 : répondre à la question posée par le chercheur (est-ce que le sérum hyper immun B. jararaca est capable de neutraliser le venin de vipère V. berus ?). Pour cela vous devez analyser les résultats des expériences 1 et 2 (tableaux 2 et 3) et réaliser un traitement graphique (à l'aide de l'outil traitement de données) des données expérimentales trouvées par le chercheur lors des expériences 1 et 2.

Question 2 : A partir de vos analyses et de vos connaissances en immunologie, justifier les différents résultats obtenus par le chercheur.

Question 3 : A partir de ces résultats et de vos connaissances en immunologie, rédiger une conclusion pour répondre aux étonnements formulés par le chercheur.

Question 4 : Pour compléter cette conclusion, proposer des expériences complémentaires pour élaborer une thérapie efficace contre le venin de vipère berus ?

Données expérimentales mises à disposition :

Valeur de la dose létale médiane (DL50).

Expérience 1 : évaluation de la neutralisation de la toxine V. berus par le sérum hyper immun (comparaison avec un témoin) - nombre de souris vivantes et mortes à plusieurs concentrations.

Expérience 2 : évaluation in vitro de la reconnaissance de l'antigène de toxine V. berus par le sérum hyper immun - valeurs d'absorption fournies par le test Elisa (sérum normal et sérum hyper immun).

L'annexe 2 présente les ressources que les élèves pouvaient utiliser : production de sérum hyper immun ; principe du test ELISA.

Réponses attendues :

Réponse 1 : les expériences 1 et 2 montrent que le sérum hyper immun *B. jararaca* n'est pas capable de neutraliser le venin de vipère *V. berus*.

Toutes les souris meurent quel que soit le dosage du sérum (expérience 2) alors que le sérum contient des anticorps du venin de serpent. Le sérum de serpent n'est donc pas capable de neutraliser le venin de vipère car il n'est pas spécifique et il n'y a pas de déclanchement d'une réaction anticorps-antigène.

Réponses 2 et 3 : Il est possible d'expliquer cela car le sérum hyper immun *B. jararaca* ne contient pas les anticorps spécifiques de la vipère *V. berus*.

Réponse 4 : il est possible de vérifier cette hypothèse en effectuant une recherche au niveau moléculaire, en mesurant l'absorbance des réactions de neutralisation de venin de serpent par sérum hyper immun de serpent *B. jararaca* contenant des anticorps spécifiques par des antigènes de vipère. Les résultats du test Elisa montrent l'absence de spécificité, en effet l'expérience montre des valeurs similaires à celles obtenues par la mise en relation de toxines de vipères avec du sérum normal (ne contenant pas de venin).

Autre expérience : contre-expérience avec du sérum de vipère.

Les savoirs et compétences mises en jeu sont les suivants :

Présence d'antigène (AG) dans le venin ; présence d'anticorps (AC) dans le sérum ; reconnaissance antigène-anticorps et neutralisation ; spécificité AG-AC ; représentation, sélection et interprétation des données.

Étude des réponses des élèves

Des analyses conduites sur 10 groupes (Mello, Marzin-Janvier, de Almeida, 2018) ont permis d'identifier des arguments en utilisant le schéma argumentatif de Toulmin et d'analyser leur structure. Les conclusions des travaux de Mello et al., dans l'étude faites dans ce domaine particulier, pointent des difficultés pour l'utilisation des données expérimentales, dans les écrits des élèves, qui convergent avec des travaux antérieurs (Jiménez-Aleixandre, 2014). Les auteurs font l'hypothèse que « l'analyse de données expérimentales exige un plus haut degré d'abstraction que la compréhension de modèles théoriques surtout quand les élèves n'ont pas effectué eux-mêmes les expériences. »

Exemples d'analyse

Tableau n°1 : Réponses des élèves d'un groupe d'élèves (E4)

Données Conclusion Garantie Fondements Données qualifiées

L'expérience 1 nous montre qu'il y a une dose de venin a partir de laquelle les souris commencent à mourir en plus grande quantité. L'expérience 2 sert à mettre en évidence si le sérum hyper immun B. jaraca est capable de neutraliser le venin de vipère V. berus. On constate que toutes les souris meurent même en ayant une très grande quantité de sérum hyper immun dans leur corps. On peut donc dire que le sérum hyper immun B.	Le chercheur a obtenu ces résultats car un anticorps est spécifique à un antigène. En effet le sérum hyper immun B. jaraca ne peut pas neutraliser le venin puisque ces anticorps ne sont pas spécifiques aux antigènes du venin de vipère V. bérus.	La réponse aux étonnements du chercheur est que les anticorps sont spécifiques à un antigène, c'est normal que toutes les souris soient mortes.	Une expérience complémentaire peut être le test d'outchterlony.

jaraca n'est pas capable de neutraliser le venin de vipère V. berus.			
Q1 : répondre à la question posée par le chercheur	Q2 : justifier les différents résultats obtenus par le chercheur.	Q3 : rédiger une conclusion pour répondre aux étonnements formulés par le chercheur.	Q4 : proposer des expériences complémentaires pour élaborer une thérapie efficace contre le venin de vipère *berus* ?

Dans cet exemple (comme dans le précédent), la logique mise en œuvre peut être analysée avec le schéma de Toulmin comme une structure de type DGC, avec la présence d'un fondement (B) :

D : L'expérience 1 nous montre qu'il y a une dose de venin à partir de laquelle les souris commencent à mourir en plus grande quantité (…). On constate que toutes les souris meurent même en ayant une très grande quantité de sérum hyper immun dans leur corps.

C1 : On peut **donc** dire que le sérum hyper immun B. jaraca n'est pas capable de neutraliser le venin de vipère V. berus.

G (Garantie ou Warrant) : **puisque** ces anticorps ne sont pas spécifiques aux antigènes du venin de vipère V. berus.

B : **CAR** les anticorps sont spécifiques à un antigène,

C2 : c'est normal que toutes les souris soient mortes

Les élèves de ce groupe ont produit également un énoncé de type Q (qualifier) : « même en ayant une très grande quantité de sérum hyper immun dans leur corps ». Du point de vue langagier, on peut considérer que cet élève est passé d'une conception naïve (attribuant l'échec à la concentration du sérum injecté) à une propriété (qualitative) du sérum. Cette reformulation traduit un changement de point de vue, à savoir la mise à distance des conceptions du quotidien. Nous retrouvons le même type de reformulation dans la production du groupe E5 (figure 1) : « Pour élaborer une thérapie efficace il faudrait réaliser un sérum hyper immun spécifique au venin de vipère et donc aux antigènes présents dans ce

venin ». Dans ce cas, la réussite de la thérapie est attribuée à la qualité du sérum (dont la propriété est spécifiée) et non à la concentration du sérum injecté. Du point de vue des apprentissages, ce changement de point de vue est associé au dépassement d'un obstacle important pour la compréhension de l'action du sérum, qui tient non pas à sa concentration mais à la présence d'anticorps spécifiques, ce qui renvoie à l'élaboration du sérum hyper-immun (présenté dans la ressource 2 de l'annexe 2).

Les analyses langagières des textes produits par ces mêmes élèves ont pour ambition de mettre en relief la capacité des élèves à s'ancrer dans un monde scientifique pour résoudre un problème. Les travaux conduits dans le cadre du laboratoire Lab-E3D tendent à monter que pour s'initier aux pratiques scientifiques il est indispensable d'acquérir les pratiques langagières attachées au discours scientifique. Donc, si l'utilisation des ressources et l'analyse des données permettent aux étudiants de s'initier aux pratiques expérimentales, il paraît important que ces activités leur permettent aussi de s'exercer à des pratiques discursives apparentées avec celles des scientifiques. La comparaison des textes produits par les groupe d'élèves E4 et E5 permet de se rendre compte que tous deux présentent certaines caractéristiques d'un positionnement énonciatif pertinent en sciences et nous avons retenu les caractéristiques suivantes : ancrage dans un monde scientifique (référence à des éléments du registre empirique, mise en réseau avec des connaissances théoriques, construction d'une explication argumentée, …), désignation d'un faisceau d'éléments constitutifs de l'objet de savoir en jeu (présence d'antigène dans le venin, présence d'anticorps dans le sérum, spécificité des AC dans la reconnaissance des AG), déplacement du point de vue (reformulation). Il en est de même pour les textes de quelques autres groupes. Dans certains textes (comme celui du groupe E5) s'ajoute le repérage d'un projet scientifique (« élaborer une thérapie efficace ») qui donne sens à l'ensemble de l'étude en spécifiant le problème à résoudre.

Pour analyser l'ensemble des textes, nous avons établi une liste d'indicateurs de changement de position énonciative, signalant un ancrage dans le monde scientifique :

- mise à distance des conceptions du quotidien (voir exemple ci-dessus) ;
- identification du projet scientifique et du problème scientifique en jeu (cas de E5) ;
- élaboration d'hypothèses (modalisation du doute) ;
- prise en charge des résultats expérimentaux (construction de la preuve) ;

- référence à des éléments empiriques pertinents (mode d'obtention d'un serum hyper-immun) ;
- mise en réseau avec des connaissances théoriques (spécificité des anticorps) ;
- construction d'une explication (mise en cohérence par des connecteurs logiques).

Si dans leurs réponses aux questions Q2 et Q3, les élèves de certains groupes adoptent un point de vue scientifique (en mobilisant leurs connaissances en immunologie) pour élaborer une explication scientifique qui dépasse le simple constat de leur réponse à la question Q1, nous avons constaté que, la plupart des élèves admettent la spécificité des anticorps comme établie, sans avoir besoin de la confirmer (à partir des résultats de l'expérience 2). En revanche, dans le texte du groupe E5, la référence au mode d'obtention du sérum hyper immun (registre empirique) indique que ces élèves prennent la précaution de préciser que la « règle » de spécificité (des Anticorps) est considérée comme valide dans le cas de deux venins différents.

- Identification du projet scientifique et du problème scientifique en jeu

E5-Q4 : **Pour élaborer une thérapie efficace ;** il faudrait réaliser un sérum hyper immun spécifique au venin de vipère et donc aux antigènes présents dans ce venin.

- Prise en charge des résultats expérimentaux (construction de la preuve)

E4- Q1 : « L 'expérience 2 sert à mettre en évidence … si le sérum hyper immun B. jaraca est capable de neutraliser le venin de vipère V. berus. On constate que toutes les souris meurent … »

- Référence à des éléments empiriques pertinents

E4-Q1 : « même en ayant une très grande quantité de sérum hyper immun dans leur corps »

E5-Q2 : « Le sérum hyper immun est obtenu à partir du sang d'un cheval ayant été exposé au venin. Le cheval produit alors des anticorps spécifiques au venin auquel il a été exposé. »

- Mise en réseau avec des connaissances théoriques

E4-Q2 : « Le chercheur a obtenu ces résultats **car** un anticorps est spécifique à un antigène. »

E5-Q4 : « Les anticorps sont spécifiques d'un antigène, ils ne peuvent **donc** pas reconnaitre deux venin »

- Construction d'une explication (mise en cohérence par des connecteurs logiques)

E4-Q2 : « le sérum hyper immun B. jaraca ne peut pas neutraliser le venin **puisque** ces anticorps ne sont pas spécifiques aux antigènes du venin de vipère V. bérus »

E5-Q2 : « Le venin de vipère n'est pas le même que celui du jararaca. Les anticorps ne peuvent **donc** pas le neutraliser. »

Figure n°2 : Analyse langagière comparée des productions de E4 et E5
(Exemples d'énoncés des groupes d'élèves)

Résultats

L'analyse des productions dont nous disposons montre que les élèves de ces groupes n'ont pas tous véritablement réussi à construire une position énonciative pertinente, bien qu'ils aient proposé au moins un argument de base (de type DGC). Au vu des réponses de ces élèves (qui font peu référence aux résultats expérimentaux), nous pouvons avancer plusieurs raisons aux difficultés rencontrées, en particulier la difficulté que représente la compréhension du test Elisa et de son rôle dans le protocole expérimental (construction de preuves). En effet, aucune des explications produites par les élèves n'exploite les informations apportées sur la structure moléculaire des anticorps (test Elisa) indispensables pour expliquer la reconnaissance des AG et donc la spécificité des AC. Nous avons également montré la prégnance des connaissances théoriques formulées sous forme canonique, sans toutefois que l'origine de la spécificité soit explicitée (sur la base des résultats du test Elisa). L'absence d'hypothèses explicites et de références à un problème scientifique identifié semble également indiquer que la situation n'est pas réellement perçue par les élèves comme une activité scientifique authentique susceptible de leur faire construire des modes de parler et de penser efficaces en sciences.

Par ailleurs, nous avons constaté l'existence de traces de conceptions naïves, repérables au travers du lexique utilisé [par exemple, « neutraliser le venin » (conception guerrière)], avec

des tentatives de mise en cohérence (« même en ayant une très grande quantité de sérum hyper immun dans leur corps ») entre deux conceptions (quotidien versus scientifique).

Discussion et Conclusion

Les premiers résultats de cette étude montrent l'importance à accorder à l'environnement dans lequel sont produits les textes des élèves en s'assurant que les apprentissages visant des transformations sur le plan cognitif et conceptuel s'accompagnent de déplacements sur le plan énonciatif. Il s'agirait alors de comprendre, à partir d'exemples, comment les formes d'étayage associées à ce type de dispositif d'apprentissage participent à l'acquisition par les élèves des façons d'agir-parler-penser spécifiques aux sciences, favorisant ainsi leur acculturation scientifique. Notre étude a permis d'établir une liste d'indicateurs de changement de position énonciative, signalant un ancrage dans le monde scientifique. Ces indicateurs intègrent les dimensions argumentatives, épistémologiques et de pratiques de savoirs.

Les résultats pointent certaines difficultés des élèves comme l'utilisation des données expérimentales. Il nous semble que le contexte particulier de l'étude qui amène les élèves à analyser des données expérimentales qui ne sont pas le fruit d'expérimentations qu'ils ont eux-mêmes menées (Jiménez-Aleixandre, 2014) et qui sont obtenues à partir de techniques (test ELISA) qu'ils maitrisent mal, permet d'expliquer cette difficulté.

Cette étude montre également la complémentarité des deux cadres utilisés. Le modèle de Toulmin permet de sélectionner les productions d'élèves qui mobilisent une argumentation de type DGC, qui met en évidence la construction d'une explication. L'utilisation de l'approche langagière permet de procéder à une analyse du contenu des éléments mobilisés.

Du point de vue de la formation des enseignants, il paraît nécessaire d'interroger les pratiques expérimentales conduites en classe (Schneeberger, Orange, Orange Ravachol et Lhoste, 2022) tout en pointant les conditions à remplir pour que les dispositifs d'apprentissage proposés aux élèves leur donnent les moyens de comprendre le fonctionnement de la communauté scientifique et donc les relations entre monde social et monde scientifique.

Bibliographie

Bernié, J.P. (2002). L'approche des pratiques langagières scolaires à travers la notion de « communauté discursive » : Un apport à la didactique comparée ? *Revue Française de Pédagogie*, (141), 77-88.

Bota, C. (2018). Pensée verbale et raisonnement. Les fondements langagiers des configurations épistémiques. Berne : Peter Lang.

Jaubert M. (2007). Langage et construction de savoirs à l'école, un exemple en sciences. Presses Universitaires de Bordeaux.

Jaubert, M. et Rebière, M., avec la collaboration de Bernié J.-P. (2012). Communauté discursives disciplinaires scolaires et constructions de savoirs : l'hypothèse énonciative. https://www.leseforum.ch/myUploadData/files/2012_3_Jaubert_Rebiere_Bernier.pdf

Jiménez-Aleixandre, M. P. et Erduran, S. (2007). Argumentation in Science Education: An Overview. In S. Erduran et M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research* (pp. 3-27). Springer Netherlands. DOI : 10.1007/978-1-4020-6670-2_1

Jiménez-Aleixandre, M. P. (2014). Determinism and Underdetermination in Genetics: Implications for Students' Engagement in Argumentation and Epistemic Practices. *Science & Education,* 23(2), 465-484. DOI : 10.1007/s11191-012-9561-6

Marzin-Janvier, P. (2015). Etayer la conception expérimentale par des environnements informatiques : études en génétique. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 12, 87-112. https://doi-org.scd-proxy.univ-brest.fr/10.4000/rdst.1135

Mello, P., Marzin-Janvier, P., Manzoni de Almeida, D. (2018). *Comment des élèves de lycée argumentent avec la plateforme LabBook dans une situation de résolution de problème en immunologie*.10 èmes rencontres scientifiques de l'ARDIST, Saint-Malo, France.

Millar, R. (1996). Investigations des élèves en science : une approche fondée sur la connaissance. *Didaskalia*, 9, 9-30.

Orange, C., Lhoste, Y. et Orange-Ravachol, D. (2008). Argumentation, problématisation et construction de concepts en classe de sciences. In C. Buty et C. Plantin (Eds.), *Argumenter en classe de sciences. Du débat à l'apprentissage*. 75-116. Lyon : INRP.

Schneeberger, P., Orange, C., Orange Ravachol, D. et Lhoste, Y. (2022). *Précis de didactique des SVT pour enseigner au collège et au lycée.* Pessac : Presses universitaires de Bordeaux.

Schneeberger, P. et Vérin, A. (2009). Développer des pratiques d'oral et d'écrit en sciences. Quels enjeux pour les apprentissages à l'école ? Lyon : INRP.

Toulmin, S. E. (2003). *The Uses of Argument*. Cambridge University Press.

Annexe 1 : situation proposée, consignes, questions posées aux élèves

Spécificité du sérum anti-venin de vipère

Un immunologiste français s'intéresse à l'étude des mécanismes impliqués dans le traitement des morsures de serpent. Il a récupéré plusieurs exemplaires de vipères *Vipera Berus* provenant du nord de la France. Il a extrait leur venin, puis il a préparé plusieurs dilutions (1, 10, 40 et 60 µg/g de souris) dans une solution saline isotonique, qu'il a ensuite injecté à plusieurs groupes de souris (comportant huit souris par groupe), afin de fixer la

toxicité du venin par la détermination de la dose létale médiane (la concentration de venin pour laquelle la moitié des individus d'un groupe meure).

Il a injecté une solution saline isotonique sans venin à un groupe de souris qui sert de groupe témoin.

Après 24 heures il vérifie la toxicité du venin : le nombre d'animaux intoxiqué est estimé par la dose létale médiane (LD50). Qui est un indicateur quantitatif de la toxicité d'une substance.

Le résultat obtenu est LD50 : 40 µg

Dilutions de venin de la vipère *V. berus* (exprimé en µg/g de souris)												Témoin : injection de solution saline isotonique		
1 µg / g			10 µg / g			40 µg / g			60 µg / g					
Souris	Vivante	Morte	Souris	Vivante	Morte	Souris	Vivante	Morte	Souris	Vivante	Morte	Souris	Vivante	Morte
I	X		I	X		I	X		I		X	I	X	
II	X		II	X		II	X		II	X		II	X	
III	X		III		X	III		X	III		X	III	X	
IV	X		IV	X		IV	X		IV		X	IV	X	
V	X		V	X		V	X		V		X	V	X	
VI	X		VI	X		VI		X	VI		X	VI	X	
VII	X		VII		X	VII		X	VII		X	VII	X	
VIII		X	VIII	X		VIII		X	VIII		X	VIII	X	

Expérience 1 : évaluation de la toxicité du venin de *V. berus* sur des souris et calcul du LD 50

Afin de proposer un antidote contre les morsures de vipère *V. Berus*, il a importé de l'institut Butantan au Brésil un hyper sérum immun contre *jararaca* (le serpent Jararaca-da-mata), un serpent très venimeux du Brésil. Le but de l'expérience est de vérifier si les anticorps anti-B Jararaca présents dans le sérum hyper immun, sont capables de neutraliser les effets toxiques du venin de *V. Berus* et d'empêcher la mort des souris. Pour faire cela il a réalisé l'expérience suivante : il a incubé un échantillon de *V. Berus* à la concentration 4XLD50 avec plusieurs concentrations de cet hyper sérum immun pendant 30 minutes avant de les injecter à des souris. Après 24 heures il a compté le nombre de souris vivantes et mortes dans chaque groupe.

Etonné par ces résultats, le chercheur décide de réaliser un autre test afin d'évaluer la reconnaissance de l'antigène de venin *V. berus* par un serum hyper immun *B. jararaca*. Pour savoir cela il réalise un test immuno-enzymatique ELISA.

Venin *V. berus* 4xLD50											
Dilution 0,5 *B. jararaca* sérum hyper immun			Dilution 0,25 *B. jararaca* sérum hyper immun			Dilution 0,125 *B. jararaca* sérum hyper immun			Venin + solution saline isotonique		
Souris	Vivante	Morte	Souris	Vivante	Morte	Souris	Vivante	Morte	Souris	Vivante	Morte
I		X	I		X	I		X	I		X
II		X	II		X	II		X	II		X
III		X	III		X	III		X	III		X
IV		X	IV		X	IV		X	IV		X
V		X	V		X	V		X	V		X
VI		X	VI		X	VI		X	VI		X
VII		X	VII		X	VII		X	VII		X
VIII		X	VIII		X	VIII		X	VIII		X

Expérience 2 : évaluation in vitro de la reconnaissance de l'antigène de toxine *V. berus* par le sérum hyper immun du serpent *B. jararaca*

L'expérience a consisté à remplir des puits avec plusieurs échantillons de toxines de *V. berus* à des concentrations connues et d'autres puits avec une dilution de sérum hyper immun *B. jararaca.* Un sérum de cheval auquel il n'a pas été injecté de venin de serpent (sérum normal) est utilisé comme témoin. Les résultats obtenus par les chercheurs sont présentés ci-dessous :

Après révélation des résultats de mesure d'absorbance, il obtient les résultats ci-dessous :

Dilution du serum	Absorbance du sérum normal (valeurs répliquées trois fois)			Sérum de *B. jararaca* hyper immun Absorbance (valeurs répliquées trois fois)		
0,5	0,118	0,100	0,125	0,190	0,150	0,125
0,25	0,157	0,132	0,100	0,107	0,200	0,159
0,125	0,141	0,111	0,123	0,112	0,176	0,132

Expérience 2 : évaluation in vitro de la reconnaissance de l'antigène de toxine *V. berus* par le sérum hyper immun *B. jararaca*.

Consigne : Répondre aux 4 questions par un texte dans le fichier ci-dessous, par un graphique, ou par un protocole.

Question 1 : répondre à la question posée par le chercheur (est-ce que le sérum hyper immun B. jararaca est capable de neutraliser le venin de vipère V.berus ?). Pour cela vous devez analyser les résultats des expériences 1 et 2 et réaliser un traitement graphique (à l'aide l'outil traitement de données) des données expérimentales trouvées par le chercheur lors des expériences 1 et 2.

Question 2 : A partir de vos analyses et de vos connaissances en immunologie, justifier les différents résultats obtenus par le chercheur.

Question 3 : A partir de ces résultats et de vos connaissances en immunologie, rédiger une conclusion pour répondre aux étonnements formulés par le chercheur.

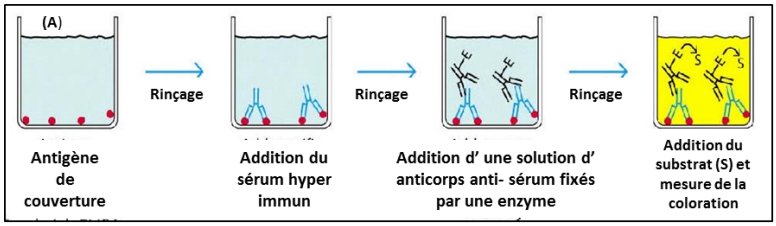
Question 4 : Pour compléter cette conclusion, proposer des expériences complémentaires pour élaborer une thérapie efficace contre le venin de vipère *berus* ?

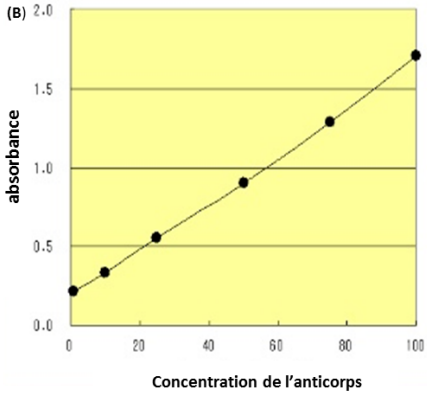
Annexe 2 : Ressources

Les techniques expérimentales utilisées dans la situation ont été proposées en classe par des ressources sous la forme de textes et des schémas.

Ressource 1 : Comment savoir que l'hyper immunisation fonctionne bien ?

- Le test in vitro le plus utilisé pour détecter ou quantifier les protéines dans un échantillon est appelé ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay), c'est-à-dire en français « dosage immuno-enzymatique sur support solide ».
- Le test ELISA utilise la propriété de la plupart des anticorps qui est leur spécificité pour les antigènes.
- La présence d'anticorps spécifiques est révélée indirectement par la production d'une coloration à la fin de l'expérience. Un appareil est capable de détecter cette coloration (par mesure d'absorbance).
- Afin de mettre au point un test ELISA, on verse une première solution d'antigènes de concentration connue, sur une plaque en plastique contenant de multiples puits. Ces plaques en plastique ont la propriété « d'accrocher » facilement les protéines. Les antigènes possèdent un site de reconnaissance spécifique pour les anticorps qui peuvent être présents dans l'échantillon analysé. L'étape suivante consiste à ajouter une solution d'anticorps anti-sérum fixée à une enzyme dont la concentration est connue. Afin de révéler l'absence ou la présence et la quantité d'anticorps dans l'échantillon, on ajoute un substrat dilué dans une substance chimique qui produit une coloration quand la réaction enzyme-substrat se produit.
- Plusieurs lavages successifs à chaque étape permettent d'éviter les liens non spécifiques.

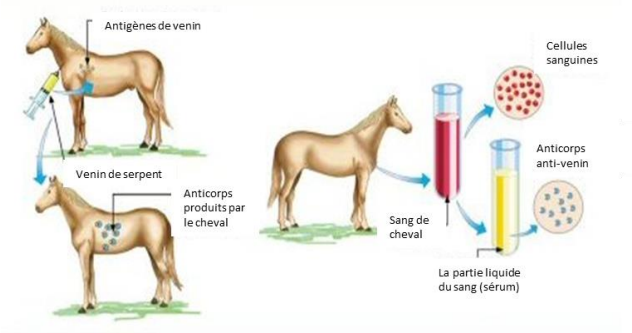




Ressource 2 : La production d'un sérum hyper immun

- 1,8 millions de personnes sont mordues par des serpents chaque année ce qui provoque la mort de 94 000 personnes environ, principalement dans les pays tropicaux pauvres
- Les sérums anti-venin sont les seuls traitements connus pour neutraliser les effets de ces morsures.

  Mais … comment est produit le sérum anti-venin (appelé sérum hyper immun) ?
- Albert Calmette (1863-1933), un chercheur français et Vital Brazil (1865-1950), un immunologiste brésilien ont proposé un traitement innovant contre les morsures de serpent.
- Ils ont découvert que quand une concentration suffisante, mais non mortelle, de venin est injectée à des chevaux, ces animaux ont la capacité de sécréter, dans leur propre sérum sanguin, des anticorps spécifiques contre les protéines de venin.



Nous appelons "**sérum normal**" le sérum extrait des chevaux auxquels il n'a pas été injecté de venin de serpent, et "**sérum hyper immun**" le sérum extrait des chevaux auxquels il a été injecté du venin de serpent.

Ce "**sérum hyper immun**" est produit régulièrement en laboratoire pour soigner les morsures de serpent.

La figure ci-dessus montre les différentes étapes utilisées pour la production de « sérum hyper immun » :

1. Hyper immunisation : injections successives de toxine de serpent dans l'organisme d'un cheval pendant un mois ;

2. Prélèvement sanguin : 15 litres de sang sont collectés par cheval d'environ 500 kg, suivi de la séparation des globules rouges et du plasma sanguin, afin de purifier le sérum hyper immun contenant les anticorps anti-venin.

3. Plasmaphérèse : afin de réinjecter les globules rouges aux chevaux pour éviter les effets secondaires.

Processus de sémiose dans un débat scientifique sur le concept d'articulation

Analyse croisée du point de vue de deux cadres didactiques : l'insécabilité des modes d'agir-parler-penser ?

Lhoste Yann [(1)], Marlot Corinne [(2)]
[(1)] U. des Antilles ; Lab-E3D, U. Bordeaux (EA 7441) – France ; CRSE, ULB - Belgique
[(2)] UER MS, HEP Vaud – Suisse ; Acté, U. de Clermont Auvergne – France ; CREAD, U. de Bretagne Occidentale - France

Résumé

Nous nous intéressons à la façon dont les élèves construisent des significations partagées et plus particulièrement, aux processus de sémiose en jeu dans les apprentissages scientifiques. Nous comparons comment nous pouvons les comprendre à partir de deux cadres théoriques et méthodologiques différents (celui de la théorie de l'action conjointe en didactique et celui de la modélisation de la structuration des contextes). Cela nous permet de mettre en discussion les deux cadres convoqués dans une perspective de didactique comparée et dans leurs apports respectifs et complémentaires à la compréhension de phénomènes didactiques en biologie.

Contexte

Concernant l'analyse des pratiques langagières, de nombreuses recherches (Jaubert, 2007 ; Schneeberger et Vérin, 2009 ; Marlot, 2014 ; Lhoste, 2017) montrent que l'activité

langagière des acteurs renseigne sur leur activité cognitive. Les analyses langagières en didactique des sciences visent donc à repérer les processus en jeu dans l'élaboration et l'appropriation du savoir par les élèves en sciences de la vie et de la Terre (SVT.) Six ans après la parution du numéro 11 de RDST (Lhoste et Orange, 2015) et au regard des relations entre langage et apprentissage dans les recherches en didactique des SVT, nous proposons de poursuivre cette réflexion avec la mise en dialogue de deux cadres théoriques et méthodologiques – celui de la théorie de l'action conjointe en didactique et celui de la théorie historique et culturelle, reprise dans un modèle de structuration des contextes - MSC (Lhoste, 2017). Nous poursuivons ainsi les travaux initiés par Santini et Crépin dans ce même numéro de RDST (Santini et Crépin-Obert, 2015) mais ici, spécifiquement pour analyser les pratiques langagières dans une classe de CM1-CM2 en France (élèves âgés de 9-10 ans).

Concernant le contexte de la mise en œuvre de la démarche d'investigation en sciences, dans lequel s'inscrit cette étude, il semble que les enseignants rencontrent des difficultés pour actualiser, dans les situations d'enseignement et d'apprentissage, un enseignement conjoint des savoirs et des pratiques de savoir en sciences (voir pour la démarche d'investigation Marlot et Morge, 2016 ; Perron, 2018). Et cela d'autant plus que, dans le temps de la mise en texte des savoirs (voir Chalak, 2014), le texte du savoir ne conserve presque jamais la trace des activités qui lui ont donné naissance et relève d'un savoir « déproblématisé », même si un travail de problématisation a été mis en œuvre.

C'est avec cette perspective de recherche que nous avons choisi d'orienter notre travail. Il s'agit de comprendre en quoi l'analyse combinant deux cadres théoriques et méthodologiques nous permet de documenter la question d'un enseignement conjoint des savoirs et des pratiques de ces savoirs.

Cadre théorique

Pour dire les choses de manière synthétique, l'analyse des situations d'enseignement et d'apprentissage en termes de structuration des contextes (MSC) et la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD) constituent deux modélisations de l'action didactique dans la classe selon des points de vue particuliers, mais suffisamment proches pour engager une mise en dialogue. En effet, l'objet de nos analyses est bien le système didactique dans son ensemble en prise avec son contexte d'existence.

Dans les deux cadres, nous travaillons à partir d'étude de cas et la focale des analyses didactiques concerne l'action didactique effective que nous envisageons selon une analyse ascendante de la transposition didactique.

La TACD (Sensevy, 2011), appréhende la production des discours du professeur et des élèves comme la manifestation de *transactions didactiques* dont le savoir est l'objet transactionnel. Le préfixe *trans* engage donc le chercheur didacticien à explorer (dans le langage) ce qui est « transmis », en termes d'objets de savoir, tout autant que ce qui est « transformé », en termes d'objets du milieu de l'étude et selon quelles règles (Marlot, 2014).

Le MSC (Lhoste, 2017) articule principalement deux niveaux du contexte :

- le contexte problématique analysé avec les outils du cadre théorique de l'apprentissage par problématisation ;
- le contexte intersubjectif qui vise à décrire/comprendre comment la classe, sous la conduite du professeur médié par les savoirs, construit progressivement un cadre commun d'activité qui peut devenir pertinent au regard des savoirs en jeu.

Nous partageons également l'idée d'une insécabilité entre les savoirs et les pratiques de savoirs. Le syntagme d'agir-parler-penser construit au sein du Lab-E3D[8] pose l'insécabilité des contenus et des démarches : il embarque les savoirs autant que les pratiques/usages de savoir en tant que savoirs culturels disciplinaires.

Analyser les interactions didactiques du point de vue langagier nous permet de saisir la façon dont les élèves construisent des significations partagées qui portent à la fois sur les objets de savoir et les pratiques de ces savoirs ou autrement dit, sur l'articulation des dimensions épistémiques et épistémologiques.

C'est à partir de ces éléments que nous posons la question suivante : En quoi la mise en dialogue de nos deux cadres du point de vue de l'analyse des interactions langagières contribue-t-elle à augmenter l'intelligibilité de certains phénomènes d'enseignement et

[8] Laboratoire d'épistémologie et de didactiques des disciplines de Bordeaux, Université de Bordeaux.

d'apprentissage, notamment la construction de significations partagées qui portent à la fois sur les objets de savoir et les pratiques de ces savoirs ?

Du point de vue de la saisie des phénomènes, cette question va se décliner en deux sous-questions opératoires qui vont guider l'enquête présentée ici :

- Comment se construisent les manières d'agir-parler-penser pertinentes au regard des savoirs et des pratiques de savoir en jeu dans une séquence relevant d'une investigation sur l'objet d'étude ?
- Comment sont partagés, rendus visibles, lisibles et accessibles à tous les élèves ces savoirs et ces pratiques de savoir ?

Il s'agit maintenant de présenter une méthode de recherche qui donne à voir de quelle manière s'organise la sémiose, c'est-à-dire la construction de significations partagées par les élèves au sein de la classe à partir d'une situation didactique de départ, dans la transmission des savoirs et des pratiques de savoir et quels sont les effets de la sémiose sur la construction du savoir.

Méthodologie

Nous nous focalisons sur l'analyse d'un moment de débat en classe de CM1-CM2, portant sur le concept d'articulation contextualisé à l'exemple du coude. Le choix du concept d'articulation se fonde sur l'existence de travaux en problématisation sur ce concept à différents niveaux de scolarité dans le primaire (Orange, 2000 par exemple). La séquence observée (annexe 1) a été co-construite par des enseignants et des chercheurs sur le mode d'une séquence forcée (Orange, 2010) dans le but de faire construire aux élèves le problème de l'articulation qui relève d'un paradoxe. En effet, pour que le membre supérieur puisse plier et déplier au niveau du coude tout en étant d'un seul tenant, il y nécessité d'un dispositif anatomique qui permet à la fois d'assurer : 1) la possibilité de plier au niveau du coude et, simultanément, 2) la continuité des segments osseux qui forment l'armature du bras et de l'avant-bras.

Notre matériau d'analyse est constitué des productions langagières écrites et orales des élèves et de l'enseignant lors de la troisième séance de la séquence qui correspond à la présentation et la mise en discussion des schémas explicatifs des 5 groupes d'élèves (qui représentent la totalité des élèves de la classe).

La méthode d'analyse se décline en 3 moments :

M1 : Construction du synopsis des séances 3 et 4.

Cette analyse doit rendre compte selon différentes échelles du contenu et du contexte de la situation de débat étudié afin de ne pas perdre de vue le contexte propre à la situation de débat étudiée. Ainsi les synopsis en tant qu'outil de réduction des données, donnent à voir les unités de découpage de l'action didactique selon trois échelles : l'échelle macroscopique lié aux grandes phases de la séance, l'échelle mésoscopique liée aux différents jeux d'apprentissage[9] et le l'échelle microscopique, celui des interactions langagières qui correspond à des interactions de quelques tours de paroles significatifs au regard de nos questions de recherche. Dans cette étude, afin de pouvoir engager la mise en dialogue de nos deux cadres sur la question de la sémiose, nous avons fait le choix de travailler au grain microscopique. Les unités de découpage de l'action didactique correspondent à ces épisodes significatifs. Chacun d'entre eux sera analysé selon les 2 cadres puis de manière croisée.

M2.1 : Analyse des interactions langagières (TACD).

Cette analyse nécessite des allers-retours entre l'échelle mésoscopique (celui des jeux d'apprentissage) et l'échelle microscopique (épisodes significatifs). La catégorie de description retenue est celle du triplet des genèses, qui sera affinée par la notion de dialectique contrat/milieu. Nous tentons de caractériser les éléments du milieu dans lesquels sont cristallisés les savoirs en jeu du point de vue de leur appartenance à des mondes différents : celui des modèles et celui des observables (Tiberghien et Vince, 2005).

[9] Au niveau mésoscopique, nous considérons dans le cadre de la TACD qu'une séance est constituée d'une succession de jeux d'apprentissage. Chacun d'entre-eux rend compte de l'état du contrat et du milieu à un instant t. Si le contrat change et/ou le milieu évolue, alors nous passons à un nouveau JA. Un JA peut admettre un ou plusieurs épisodes significatifs, dont la durée est de quelques tours de parole. Dans le cadre de la MSC, c'est la macrostructure du débat qui relève du niveau mésoscopique.

M2.2 : Analyse des interactions langagières (MSC)

Les interactions sont analysées au niveau microscopique avec différents outils : les traces de problématisation (Orange, 2012) et systématiquement les processus de construction des objets de discours, d'autres éléments peuvent également être mobilisés à l'occasion comme les processus de secondarisation des discours et les mécanismes de déplacements des positionnements énonciatifs (Fillon et al., 2004). Les objets de discours caractérisent à la fois les objets de savoirs qui sont travaillés et la manière dont ils sont parlés, c'est-à-dire la pratique qui en rend compte, soit la pratique de savoir.

M3 : Analyse croisée des résultats précédents : les implications didactiques et épistémologiques de la construction de significations partagées dans le cadre d'un débat scientifique.

Les analyses du moment 2 (M2) sont mises en dialogue afin de raffiner encore les compréhensions construites pour produire une compréhension des phénomènes de sémiose.

Résultats et discussion : l'analyse du débat

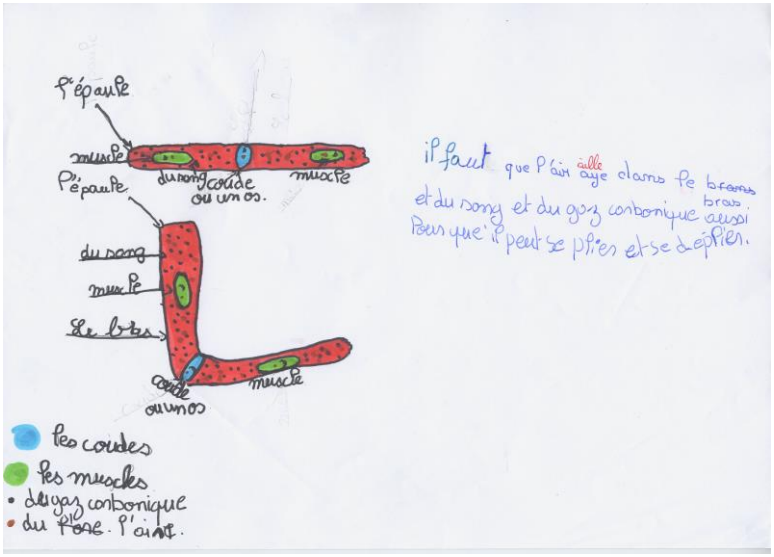
Dans la mesure où nous souhaitons, d'une part, éprouver cette méthode et d'autre part, donner à voir le produit de la mise en dialogue de nos deux cadres interprétatifs des phénomènes de sémiose dans le cadre du débat argumentatif, nous avons procédé à certains choix dans la présentation des résultats.

Plutôt que d'exposer successivement les résultats pour chacun des trois moments de la méthode de recherche, nous avons pris la liberté de nous focaliser sur le moment 3 - celui de l'analyse croisée - pour produire une analyse en termes d'insécabilité des savoirs et pratiques de savoir. Nous présenterons d'abord les résultats qui concernent l'analyse du débat sur la présentation de l'affiche du groupe 1. Puis nous reprendrons ces résultats pour analyser le phénomène de sémiose lors de la présentation de l'affiche du groupe 2.

Le débat autour de l'affiche du groupe 1 (document 1)

La figure 1 présente l'affiche produite par le groupe 1. Ce qui nous semble tout d'abord à souligner dans cette production est la présence d'un os au niveau du coude, mais l'absence d'os dans l'avant-bras et le bras. De plus, les élèves ont représenté des muscles dans le bras et l'avant-bras et la présence importante (comme en témoigne leur commentaire) d'éléments issus de la séquence précédente sur la respiration (air, gaz carboniques) convoqués pour

expliquer la flexion et l'extension. Comment l'enseignant et les élèves vont-ils s'engager dans une discussion critique de ce modèle ?



Notre analyse didactique qui s'intéresse à la focalisation de l'attention des élèves sur le repérage de traits pertinents, l'identification de contraintes et la construction de nécessités (idées explicatives), nous autorise à produire certaines conjectures que nous allons développer.

Figure n°1 : Affiche produite par le groupe 1

Le tableau 1 présente une mise en regard de nos deux analyses selon chacun de nos deux cadres et réalisée chacune à partir des *verbatim* relatifs aux épisodes identifiés lors de l'analyse dans le cadre de la TACD

Tableau n°1 : Émergence des modes d'agir-parler-penser selon l'analyse comparative des deux cadres interprétatifs

Présentation affiche du groupe 1		
TACD	**MSC**	**Émergence des pratiques de savoir (PPA)**
L'étude de la dialectique contrat-milieu et de la mésogénèse montre que l'attention des élèves est focalisée sur certains objets du milieu-schéma qui cristallisent un enjeu central du savoir – l'articulation coude-os et qui représentent un fait scientifique en tant que trait pertinent.	Focus sur l'objet de discours « coude » en lien avec un autre objet du discours « os »	**Construire un fait scientifique (épisode 1.1.1)**
La mésogénèse montre que Le milieu initial (le schéma du groupe 1) s'est enrichi d'un nouvel objet (le bras de l'élève Sam). La mise en relation des 2 objets schéma-bras (par l'élève) fait émerger implicitement la notion de modèle et les limites de la représentation	Construction du modèle sur la contrainte empirique (l'os est dur)	**Notion de modèle et limites de la représentation (épisode 1.2.1)**

TACD	MSC	Émergence des pratiques de savoir (PPA)
La dialectique contrat-milieu permet de faire émerger la question de la recevabilité du schéma. Cette question, si elle participe indirectement de la production des connaissances sur le mouvement du bras, produit une forme d'acculturation à la pensée scientifique, propre à l'apprentissage par problématisation	L'enseignant réoriente l'attention des élèves sur des mise en relation interobjectales (muscle et bras), ce qui engage une réflexion critique sur la possibilité du modèle du groupe.	**Un schéma est recevable s'il est le support d'une explication valide (démonstration et non intuition) épisode 2.1.1**
La topogénèse montre qu'une règle se construit dans les interactions : la validation (ou l'invalidation) des modèles explicatifs doit s'appuyer sur des faits pertinents et partageables sans équivoque par tous	Raisonnement sur les possibles au regard des objets de discours sélectionnés.	**La nécessité de s'appuyer sur des faits pertinents et partageables sans équivoque par tous (épisode 2.1.1)**
La topogénèse donne à voir un principe énoncé par l'enseignant (qui abandonne l'hypothèse du rôle de l'oxygène dans la flexion du bras) E-124 : « On va peut-être laisser de côté l'oxygène et le gaz carbonique pour s'intéresser à ce qui apparaît dans le bras. Ici on a des muscles et on a ce qu'elles appellent un os au niveau du coude »	Réorientation de l'activité des élèves sur les objets de discours os/coude Fermeture du problème de nutrition et focalisation sur le schéma. Émergence d'une communauté discursive scientifique scolaire.	**En sciences, on s'intéresse aux faits qu'on peut objectiver (on s'intéresse à ce qui apparaît) épisode 2.2.1**
La mésogénèse montre que le milieu initial (schéma du groupe 1) est réinterrogé en faisant entrer des éléments précédemment construits : contraintes et contradiction. Cet enrichissement du milieu autorise une analyse critique en termes de possible/impossible. La topogénèse montre comment le raisonnement des élèves se met en place au travers des interactions pilotées par l'enseignant (s'il n'y a pas… donc …. Or…)	Mise en tension entre le registre empirique et le registre des modèles par une critique du schéma. Geste de l'enseignant de partage du problème pour amener les élèves vers une reformulation des contraintes. Il aide à l'explicitation du raisonnement implicite de l'élève en jouant sur une forme de raisonnement par l'impossible au niveau du référent empirique. Ainsi se fait la mise en relation des 2 registres.	**L'argumentation sur les possibles (épisode 2.3.1)**

Le tableau 1 donne à voir comment la mise en regard de l'analyse des différents épisodes du débat du groupe 1 par chacun des deux cadres nous permet ensuite d'inférer l'émergence des pratiques de savoir (Agir Parler Penser) dans le débat.

Nous observons que nous produisons ainsi par la complémentarité de nos analyses la construction de modes d'agir-parler-penser en tant que pratiques culturelles du savoir scientifique. Cette complémentarité produit effectivement une intelligibilité plus grande de ces processus de sémiose, dès lors qu'il s'agit de considérer l'apprentissage de pratiques de savoir, caractéristiques de la culture scientifique.

On notera, dans ce premier moment de débat, un développement plus important des connaissances relatives aux pratiques de savoir (dimension épistémologique) que des connaissances liées au contenu en jeu (de quoi est composé le bras pour pouvoir se plier), soit la dimension épistémique. Nous faisons l'hypothèse qu'au fur et à mesure que les différents groupes vont exposer leur modèle et s'engager sur la question de la recevabilité du schéma, cette partition pourra évoluer. La suite des analyses nous le dira.

Pour autant, si on s'intéresse plus particulièrement aux objets de discours[10], on observe pour ce groupe 1, une cohérence à la fois avec les pratiques de savoir en sciences (les modes d'agir-penser-parler) comme le montre le tableau 1 et une cohérence avec les objets de savoir (les conditions de la flexion du bras), comme le montre l'extrait de verbatim du tableau 2.

Tableau n°2 : L'épisode 1.2.1. (Épisode complet)

1.	E (à Morgane) : L'os qui est là, qu'est-ce qu'il fait ?
2.	Morgane : Il se plie et se déplie (fait le geste en même temps).
3.	E (à Samira) : Et toi, tu disais ?
4.	Samira : C'est le bras. Quand je touche, c'est un os mais c'est le bras qui plie.
5.	E : Quand tu dis « quand je touche, c'est un os », qu'est-ce qui te fait dire que c'est un os ?
6.	? : Parce que c'est dur.
7.	E : ?
8.	Samira : Parce que c'est dur.
9.	E : C'est dur. Est-ce qu'il y a une autre raison ? Tu remarques qu'il y a quelque chose de dur donc tu dis que c'est un os. C'est ça ?
10.	Samira : Oui.

Cette double cohérence dans les objets de discours nous conduit à saisir ici une conjonction entre savoirs et pratiques de savoir. Nous nous sommes alors demandés si nous pouvions, à l'inverse, identifier des disjonctions entre savoir et pratiques de savoir.

En effet, les objets de discours des élèves ne sont pas toujours pertinents par rapport à l'objet de savoir visé par le professeur dans cette séance (le concept d'articulation). Les élèves évoquent d'autres objets (le sang, le dioxygène, le dioxyde de carbone, les muscles). Il est intéressant de noter que l'enseignant ne traite pas de la même manière ces autres objets de

[10] Les objets de savoir sont relatifs à ce qui est visé par l'enseignant et les objets de discours, ce dont parlent les élèves et qui donne à voir une certaine schématisation (au sens de Grize) de l'objet de savoir.

discours. Pour ce qui relève des problèmes relatifs à la nutrition, rapidement, l'enseignant ferme les développements de la discussion dans cette direction. Ce processus de fermeture d'un problème, non pertinent au regard de l'objet d'étude, aura lieu à chaque fois de la même manière à plusieurs moments de la discussion de la production du groupe 1 (tableau 3).

Tableau n°3 : Un moment de disjonction dans l'épisode 2.2.1

124.	E : On va peut-être laisser de côté l'oxygène et le gaz carbonique pour s'intéresser à ce qui apparaît dans le bras. Ici on a des muscles et on a ce qu'elles appellent un os au niveau du coude. Elles ont fait des muscles et un os au niveau du coude. Il n'y a rien qui interpelle par rapport à ça ?	Fermeture problème nutrition Focalisation sur le schéma -> « ce qui apparait dans le bras » -> réorientation de l'activité des élèves OD – muscles / os / coude CDSS

Le traitement de l'objet de discours muscle par le professeur n'est pas le même. Nous y voyons un moment de disjonction entre l'objet de savoir principal en jeu dans ce débat (le concept d'articulation) et ce qui est discuté par les élèves du groupe 1, c'est-à-dire le rôle des muscles. Les muscles ont une fonction dans un autre problème « qu'est-ce qui fait bouger », là où celui de l'articulation serait formulé en ces termes : « comment faire tenir le bras tout en lui permettant de plier au niveau du coude ». L'idée de disjonction est peut-être un peu forte car les muscles ont bien un rôle à jouer dans le mouvement du bras, mais ce n'est pas l'enjeu de savoir dans ce moment de débat.

Si nous acceptons l'idée de disjonction telle que nous l'avons définie ci-dessus, il est intéressant de pointer que les interventions de l'enseignant restent cohérentes avec les enjeux de l'agir-parler-penser scientifique. En effet, le professeur réoriente l'activité des élèves sur des problèmes explicatifs (à quoi servent les muscles, quel est le rôle des muscles, comment ça fonctionne) et il tente d'amener les élèves à acquérir un raisonnement inter objectal nécessaire pour comprendre l'articulation (mais ici appliqué à un objet de savoir qui n'est pas celui visé par l'enseignant).

Ainsi, les moments de disjonction peuvent être caractérisés comme suit : le professeur transmet aux élèves les modes d'agir-parler-penser de la discipline scientifique, mais sur un objet de discours (passage intra objectal à l'inter objectal et analyse critique de la recevabilité du schéma) qui n'est pas nécessairement l'objet de savoir visé par l'étude (l'articulation du coude).

Au terme de cette première analyse, nous faisons l'hypothèse, concernant les stratégies enseignantes – dans un débat relevant d'une investigation scientifique – de trois types de

modalités de conjonction / disjonction entre les savoirs et les pratiques de savoir qui peuvent être vues comme des catégories de description de l'insécabilité savoirs/pratiques de savoir :

- Conjonction entre savoir et pratiques de savoir : l'enseignant donne à voir conjointement les objets de discours et les manières d'agir-parler-penser pertinents au regard des objets de savoir visés par l'enseignement ;
- Disjonction entre savoir et pratiques de savoirs (comme dans l'exemple de l'épisode du muscle) quand l'enseignant travaille avec les élèves autour des modes d'agir-parler-penser spécifiques de l'activité scientifique, mais sur des objets de discours qui s'éloignent de l'objet de savoir visé par la séquence ;
- Nous imaginons même qu'à d'autres moments, il puisse y avoir des moments de disjonctions entre le savoir transmis et les pratiques de savoir données à voir aux élèves par l'enseignant.

Pour résumer notre propos, nous présentons le tableau 4.

Tableau n°4 : Catégories de description de l'insécabilité entre savoirs et pratiques de savoir dans l'analyse des interactions langagières en sciences

Catégories de description de l'insécabilité des savoirs et des pratiques de savoir	*OD : objets de discours* *PS : pratiques de savoir* *OS : objets de savoir*
Conjonction	OD en cohérence avec les PS (les manières d'APP) OD en cohérence avec les OS
Disjonction type 1	OD en cohérence avec les PS OD éloignés de OS
Disjonction type 2	OD éloignés des PS OD cohérents avec les OS
Disjonction type 3	OD éloigné des OS et des PS

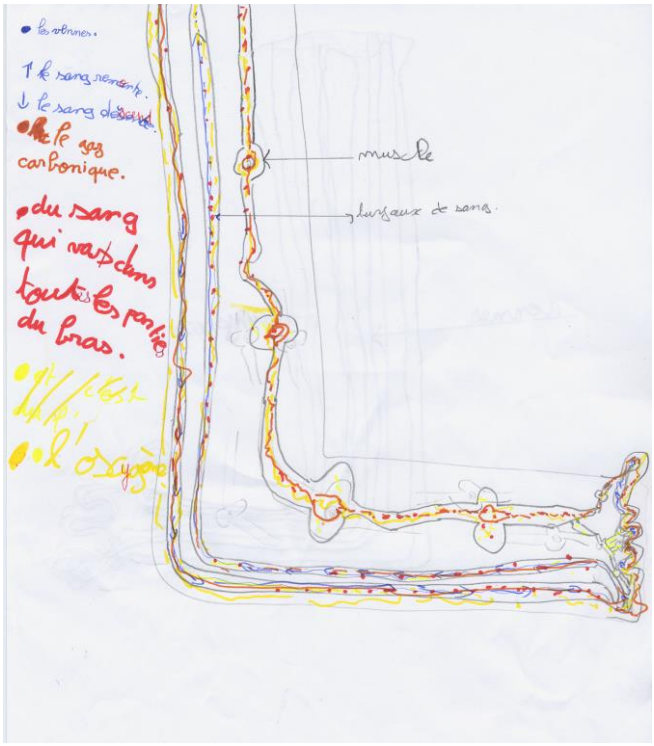
Le débat autour de l'affiche du groupe 2

Dans le but de tester la pertinence de ces premiers résultats, nous avons souhaité mettre à l'épreuve ces catégories de description. L'analyse des interactions de la présentation de l'affiche du groupe 2 va se focaliser sur l'identification de ces catégories de conjonction

et/ou de disjonction entre les savoirs et les pratiques de savoir. En effet, mobiliser ce niveau de description nous permettrait de mieux caractériser le processus de sémiose à l'œuvre dans le débat, afin de mieux comprendre la nature et la densité épistémique et épistémologique des significations plus ou moins partagées qui s'élaborent au fil des interactions.

La figure 2 présente l'affiche produite par le groupe 2. Si nous la comparons à celle du groupe 1, nous pouvons formuler les constats suivants : les élèves du groupe 2 ne font aucunement référence à des os dans le bras, mais uniquement à la présence de muscles et de vaisseaux sanguins. Comment l'enseignant va-t-il gérer la présentation et la discussion de cette affiche qui ne contient pas d'informations sur l'objet de savoir visé dans cette séquence ?

Figure n°2 : Affiche produite par le groupe 2



De façon assez peu surprenante au regard de l'analyse de l'affiche du groupe 2 (figure 2), nous avons observé une majorité de moments de disjonction de type 1 dans les tours de parole consacrés à la présentation de cette affiche (tours de parole 165-262). Pour rappel, ces moments de disjonction de type 1 correspondent à des moments où les objets de discours sont éloignés des objets de savoir visés par l'enseignant, mais où les pratiques de savoir restent en cohérence avec les manières d'agir-parler-penser travaillées en classe. Pour

exemplifier ce que nous voulons dire, prenons l'analyse de quelques tours de parole en utilisant les catégories émergentes d'agir-parler-penser du tableau 1 (tableau 5).

Tableau n°5 : Échanges liés aux jeux d'apprentissage JA4 et JA6

JA4	Episode 1.4.1
216	E : Bon alors pour eux comment le bras peut-il se plier ?
217	Morgane : Il y a du sang qui va dans toutes les parties du corps.
218	E : Du sang qui va… ? Par rapport à ce qu'ils ont **vraiment** fait ?
219	Samira : Il y a de l'oxygène qui passe dans les muscles.

	JA6/Épisode 2.2
249	E : **On ne voit pas trop** comment ils permettent au bras de plier. Comment le fait qu'ils gonflent, ça va permettre au bras de plier ?
250	Flavien : C'est automatique.

Nous analysons ces tours de parole de la façon suivante. Comme pour le groupe 1, l'enseignant remobilise le mode d'agir-parler-penser suivant : "un schéma est recevable s'il est le support d'une explication acceptable (c'est-à-dire s'il ne repose pas seulement sur l'intuition, mais présente un modèle de ce que l'on cherche à expliquer"). De ce point de vue, l'enseignant prend au sérieux les schémas produits et cherche à comprendre le fonctionnement du modèle présenté par le groupe 2. Ses interventions 216 et 218 vont dans ce sens : comment ça marche, on en reste à ce qu'ils ont représenté. Il y a donc bien une certaine cohérence dans le pilotage de la classe par rapport à cette pratique de savoir. Le discours est en cohérence avec les pratiques de savoir en classe de sciences. Nous proposons de dire qu'il y a une certaine cohérence épistémologique.

Cependant, les objets de discours, eux, sont éloignés des objets de savoir visés par le professeur, ce qui n'est pas surprenant vu que les élèves du groupe 2 ne font pas appel aux os dans leur explication (tableau 6).

Tableau n°6 : Échanges liés au jeu d'apprentissage JA2, épisode 1.2.1.

1.174	Flavien : Le muscle gonfle et automatiquement le bras… comme ça (fait le geste de plier le bras).
1. 175	Féthullah : Il y a pas d'os.

Féthullah pointe, dès l'intervention 175, un problème en lien avec l'explication du groupe 2. Il n'y a pas d'os. Par cette intervention, elle signale que les os ne sont pas représentés dans le schéma, ce qui conduit (de son point de vue et implicitement) à son invalidation au regard des avancées réalisées avec le travail sur l'affiche du groupe 1. Ce type d'intervention aura également lieu plus loin dans la discussion sur l'affiche du groupe 2 (230-246).

Au cours de l'épisode présenté dans le tableau 7 et en appui sur le travail réalisé lors de la discussion sur le groupe 1, Samira rappelle que, sans os, les muscles ne peuvent pas intervenir dans le mouvement de flexion/extension.

Tableau n°7 : Échanges liés au jeu d'apprentissage JA6, épisode 2.2.2.

JA6/ Épisode 2.2.2	
259	E : Donc qu'est-ce qu'on peut dire sur les muscles ?
260	Samira : Ils ont pas de rôle.
261	E : Comme pour le groupe A donc. Les muscles ne permettent pas… *(écrit en même temps)*
262	Samira : Au bras de se plier et de se déplier.

Ces impossibilités formulées par certains élèves (**contradictions**) telles que l'absence d'os et de coude, ne sont pas relevées explicitement par le professeur et ne sont donc pas validées. Nous l'interprétons au regard de ce que nous avons dit précédemment : il faut tout de même prendre au sérieux ce que les élèves ont représenté sur leur schéma et comprendre comment cela peut fonctionner (187, 197, 200), d'où la qualification de moments de disjonction de type 1.

Malgré la difficulté posée par cette affiche pour construire le concept d'articulation, nous pouvons identifier un épisode où l'enseignant tente d'articuler savoirs et pratiques de savoir dans la production d'une explication, ce que qualifions de moment de conjonction.

Dans cet épisode (tableau 8), le discours est en cohérence avec les modes d'agir-parler-penser spécifiques des sciences : « en sciences, on s'intéresse aux faits qu'on peut objectiver » (on s'intéresse à ce qui apparaît, c'est-à-dire ici les tuyaux (trait pertinent)).

Les objets de discours se rapprochent des objets de savoirs visés par l'enseignant puisque les élèves s'essayent (d'une manière pas tout à fait aboutie ici) à la construction d'un modèle explicatif en mettant en relation ce qui est représenté sur le schéma (les tuyaux et les muscles) pour expliquer le mouvement (flexion/extension).

Tableau n°8 : Échanges liés au jeu d'apprentissage JA3, épisode 1.3.2

	Episode 1.3.2/JA3
203.	Gwendoline : C'est quoi, ce qui est là ? (montre ce qui relie les muscles).
204	E : Vous avez fait des muscles. Montre-nous les muscles que vous avez faits.
205	Flavien montre les muscles sur le schéma.
206	E : Qu'est-ce qu'il y a entre les muscles ?
207	Flavien : Il y a de l'oxygène qui passe.
208	E : **Vous avez fait des tuyaux** qui vont d'un muscle à l'autre, c'est ça ?
209	Flavien : Oui, ça va à un muscle, puis à un autre muscle.
210	E : **A quoi servent les tuyaux qui vont d'un muscle à l'autre ?**
211	Flavien : Ils servent à faire bouger l'autre muscle.
212	E : **Comment un tuyau peut-il permettre de faire bouger un muscle ?**
213	Flavien ne répond pas.

Ce qui nous semble particulièrement notable par rapport à l'acculturation aux sciences des élèves, c'est que l'enseignant tente tout de même de faire passer les élèves d'un raisonnement intra objectal (Flavien - 174 : Le muscle gonfle et automatiquement le bras… comme ça - *fait le geste de plier le bras*) à un raisonnement inter-objectal : quelles sont les relations entre objets (ici les muscles et les tuyaux) qui permettent d'expliquer le mouvement. Ce pilotage de l'enseignant qui invite systématiquement les élèves à s'intéresser, non pas aux objets en eux-mêmes, mais aux relations entre objets nous semble à souligner, car c'est un mode d'agir-parler-penser qui est véritablement caractéristique de la pratique scientifique.

Un autre moment important de conjonction relève de l'épisode sur l'absence d'os et des problèmes que cela pose (232 – 250, tableau 9).

232	Mariem : Il y a pas d'os.	Constate l'absence d'os (impossibilité implicite ?)
233	E : Et c'est un problème pour vous ?	L'enseignante thématise cette question : est-ce un problème ?
234	Maurane : Ca va être tout mou comme le premier schéma.	Raisonnement par l'impossible pour partie implicite : s'il n'y a pas d'os alors le bras va être tout mou, ce qui n'est pas le cas.
235	E : Le bras va être mou. Qu'est-ce que tu en penses, Flavien ?	
236	Flavien : Oui, il va être tout léger, il va être tout mou, si on va faire ça (*se touche le bras*) ça va être tout mou.	Le raisonnement est repris en partie par Flavien sans qu'il n'en tire de conséquence par rapport au schéma qu'il a produit en tant que membre du groupe 2.
237	E : Il n'y a pas d'os donc le bras va être… va être mou.	Le professeur ne tire pas la conséquence de ce qui vient d'être dit et n'explicite pas l'impossibilité du schéma du groupe 2
238	E : Donc les os, ils servent à quoi pour vous ?	Mais il relance sur la fonction des os dont la présence nécessaire n'a pas encore été thématisée
239	Morgane : A se plier.	Fonction des os : impliqués dans la flexion
240	Samira : Pour tenir les muscles.	Fonction des os : rôle dans le mouvement en lien avec les muscles
241	E : Pour tenir les muscles.	
242	Maurane : Pour plier et déplier…	Fonction des os : impliqués dans la flexion et l'extension
243	E : Plus précisément quel est le rôle des os alors ? Si vous dites que sans les os, le bras va être mou, les os sont là pour quoi ?	
244	Marina : Pour durcir le bras.	Fonction des os : assurer la solidité du bras
245	E : L'idée de durcir, que le bras soit dur.	
246	Morgane : Comme il y a pas d'os, il peut pas se plier et se déplier.	Fonction des os : impliqués dans la flexion et l'extension
247	E : Et pour les muscles alors, par rapport à ce qu'on avait dit, est-ce qu'ici ils ont un rôle plus… ?	
248	Plusieurs : Non.	En absence d'os, les muscles ne servent à rien dans la flexion et l'extension. Raisonnement interobjectal.

249	E : On ne voit pas trop comment ils permettent au bras de plier. Comment le fait qu'ils gonflent, ça va permettre au bras de plier ?	L'enseignant ne thématise pas l'impossibilité fonctionnelle du schéma du groupe 2 alors que les principaux éléments pour le faire sont disponibles. Il en reste à une pratique de savoir "on prend au sérieux et on s'intéresse à la production du groupe en tant que modèle possible".
250	Flavien : C'est automatique.	Flavien en revient à un raisonnement intraobjectal

Tableau n°9 : Échanges liés aux tours de parole 232-250 et analyse du point de vue du MSC

Dans cet épisode, nous remarquons un moment de convergence entre les savoirs (os, liens os-muscles) et les pratiques de ces savoirs (raisonnement par l'impossible, nécessité fonctionnelle : il faut des os à la fois pour que le bras soit solide et pour que les muscles puissent, dans leur relation avec les os, les faire bouger les uns par rapport aux autres). De nouveau, il y a des tentatives de passer à un raisonnement inter objectal, même si la conclusion de cet épisode est marquée par le « c'est automatique » de Flavien qui relève d'un raisonnement intra objectal.

Discussion par rapport au groupe 2

Chez les élèves du groupe 2, plus encore que pour le groupe 1, il y a une mobilisation très importante des éléments de savoir de la leçon précédente qui portait sur la respiration. Cependant, à la différence du pilotage de l'enseignant dans le groupe 1 où il fermait systématiquement le problème de la nutrition, avec le groupe 2, il accepte que l'on en discute (voir échange ci-dessous). En effet, ce sont les principaux éléments qui apparaissent sur le schéma des élèves du groupe 2 (tableau 10).

Tableau n°10 : Échanges liés au jeu d'apprentissage JA4, épisode 1.4.2.

	Episode 1.4.2 /JA4
220	E : Et pourquoi il faut de l'oxygène dans les muscles ? Flavien ?
221	Flavien : Pour faire fonctionner le muscle.
222	E : Pour faire fonctionner le muscle. (Ecrit en même temps) Il y a de l'oxygène dans les muscles pour les faire fonctionner.
223	E : Alors pour eux comment le bras peut plier ?
224	Samira : Les muscles se gonflent.
225	E : Les muscles se gonflent ?
226	Samira : Oui.
227	E : Et c'est tout, ça suffit pour faire plier le bras.
228	Samira : Non il y a aussi le gaz carbonique.
229	Morgane : Il y a le gaz carbonique et l'oxygène qui passent dans le bras.

Il est également notable qu'à aucun moment de la présentation de l'affiche du groupe 2 et de sa discussion, le professeur ne souligne l'impossibilité fonctionnelle du schéma du groupe 2 au regard des avancées réalisées avec la présentation de l'affiche du groupe 1 au cours desquelles la nécessité d'os pour assurer à la fois la solidité du bras et la flexion et extension a été travaillée. Ainsi, au cours de la présentation et de la discussion autour de l'affiche du groupe 2, il nous semble que la dimension épistémique est sous-valorisée (on accepte de parler d'objets qui sont éloignés des objets de savoir visés par l'enseignant) par rapport à la dimension épistémologique (modes d'agir-parler-penser spécifiques de l'activité scientifique comme le passage d'un raisonnement intra objectal à un raisonnement inter objectal). L'enseignant interroge le schéma cette affiche du groupe 2 essentiellement du point de vue de sa lisibilité sans que son statut de recevabilité soit interrogé du point de vue épistémique. Tout se passe comme si le schéma faisait obstacle à la construction de raisons (le nécessaire et l'impossible). Pour tenter d'interpréter cette situation, nous formulons l'hypothèse suivante : à l'école primaire, il pourrait y avoir survalorisation des productions des élèves et parfois, au détriment de la construction des savoirs.

Si nous poursuivons nos interprétations, nous pourrions voir dans cette discussion avec le groupe 2, une forme de dédoublement du milieu (Margolinas, 2005). Le professeur et les élèves jouent dans deux milieux différents. Bien que le milieu-schéma soit un objet partagé entre l'enseignant et les élèves, il n'est pas investi de la même manière par les protagonistes. Certains élèves raisonnent sur la possibilité / impossibilité du schéma au regard du travail réalisé jusque-là. Le professeur accepte de discuter le fonctionnement du modèle du groupe 2, même si les éléments mobilisés pour les élèves du groupe 2 ne sont pas les « bonnes connaissances » à mobiliser pour expliquer la flexion et l'extension du bras. Il ne thématise jamais les impossibilités fonctionnelles pointées par certains élèves (sous valorisation épistémique). Cependant ce schéma qui aurait pu être rapidement invalidé est pris au sérieux par l'enseignant. Il accepte d'essayer de le comprendre, tout en reprenant des pratiques de savoirs qui sont liés à l'acculturation scientifique des élèves, par exemple en incitant à passer d'un raisonnement intra objectal à un raisonnement inter objectal.

Il pourrait donc y avoir possiblement une sorte de dialogue de sourds entre le professeur et les élèves, dans lequel seuls les élèves sont à l'initiative des traits pertinents et de la construction (plus ou moins explicite) d'impossibilités, là où l'enseignant ne les thématise

jamais et reste focalisé sur l'objet schéma, sa lisibilité, sa signification (en tant que système de représentation).

Ainsi, si la dimension épistémologique est valorisée et enrichie (par rapport au groupe 1), le fait que ces pratiques de savoir ne soient pas thématisées, diffusées, explicitées dans la classe par le professeur ne leur confère pas de statut de savoir nouveau construit. Cela pourrait produire un accès différencié aux connaissances. Les bons élèves, ceux qui comprennent implicitement « à quel jeu on joue », vont s'emparer de ces modes d'agir-parler-penser (entrer dans la critique d'un modèle pour construire des nécessités fonctionnelles et des impossibles) et les remobiliser dans la situation ou dans d'autres identiques à venir.

Conclusion

La mise en dialogue des deux cadres d'analyse a permis de caractériser de manière plus fine ces stratégies au regard des phénomènes de conjonction ou de type de disjonction qu'elles produisent. Pour autant, ces stratégies ne semblent pas toujours avoir pour visée l'apprentissage des élèves, mais semblent liées à certaines tensions qui pèsent sur le travail du professeur en sciences : si l'articulation des dimensions épistémiques et épistémologique reste problématique, des préoccupations plus génériques semblent interférer avec les savoirs en jeu : la priorité accordée à la valorisation des productions de chacun des groupes, par exemple, ou encore l'importance de la lisibilité d'une représentation schématique. Cet ensemble d'enjeux peut entrer en concurrence et surdéterminer certains choix en situation qui témoignent de ces tensions. Dans cette direction, la notion d'équilibration didactique contrat / milieu (Sensevy, 2011 ; Marlot, 2014) et de structuration des contextes (Lhoste, 2017) peuvent contribuer à comprendre et expliquer l'émergence de ces différentes modalités de conjonction / disjonction et leurs liens avec les processus de sémiose, au regard des tensions qui, pour partie, contribuent à organiser les stratégies enseignantes en classe de sciences.

Il sera intéressant, pour la suite du travail, d'étudier la dimension heuristique de ces propositions et ce qu'elles produisent en termes d'acculturation scientifique. Il s'agira également de resituer ces considérations dans l'ordinaire de la classe en tant que stratégies de l'enseignant (plus ou moins assumées) et qui peuvent donner lieu à des effets de contrat (Topaze / Jourdain).

Références bibliographiques

Chalak, H. (2014). Difficultés de construction de savoirs et textes de savoirs problématisés en sciences de la Terre et pratiques enseignantes : étude d'une séquence ordinaire portant sur le magmatisme. *Éducation & didactique*, *8*(3), 55-80.

Fillon, P., Orange, C., Peterfalvi, B., Rebière, M. et Schneeberger, P. (2004). Argumentation et construction de connaissances en sciences. In J. Douaire (éd.). *Argumentations et disciplines scolaires* (203-247), INRP.

Jaubert, M. (2007). *Langage et construction de connaissances à l'école : un exemple en sciences*. Presses universitaires de Bordeaux.

Lhoste, Y. (2017). *Épistémologie et didactique des SVT*. Presses universitaires de Bordeaux.

Lhoste, Y. et Orange, C. (2015). Quels cadres théoriques et méthodologiques pour quelles recherches en didactique des sciences et des technologies. *RDST*, *11*, 9-24.

Margolinas, C. (2005). Les bifurcations didactiques : un phénomène révélé par l'analyse de la structuration du milieu. Dans A. Mercier et C. Margolinas. *Balises en didactique des mathématiques* (1-12). La pensée sauvage.

Marlot, C. (2014). Le processus de double sémiotisation au cœur des stratégies didactiques du professeur. Une étude de cas en découverte du monde vivant au cycle 2. *Revue Suisse des Sciences de l'Éducation*, *36* (2), 307-332.

Marlot, C. et Morge, L. (2016). *L'investigation scientifique et technologique. Comprendre les difficultés de mise en œuvre pour mieux les réduire*. Presses universitaires de Rennes.

Orange, C. (2010). Situations forcées, recherches didactiques et développement du métier enseignant. *Recherches en éducation,* HS *2*, 73-85.

Orange, C. (2012). *Enseigner les sciences. Problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe.* De Boeck.

Perron, S. (2018). *Étude de l'articulation des démarches d'investigation scientifique avec les autres savoirs composant la structure disciplinaire : cas d'enseignants de sciences de la vie et de la Terre exerçant en collège français* [thèse de doctorat]. Université de Bretagne occidentale.

Santini, J. et Crépin-Obert, P. (2015). Analyse comparée de séances de géologie à l'école primaire. Problématisation et action conjointe élève-professeur. *RDST, 11*, 25-52.

Schneeberger, P. et Vérin, A. (2009). *Développer des pratiques d'oral et d'écrit en sciences. Quels enjeux pour les apprentissages à l'école*. INRP.

Sensevy, G. (2011). *Le sens du savoir. Éléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique*. De Boeck.

Tiberghien, A. et Vince, J. (2005). *Étude de l'activité des élèves de lycée en situation d'enseignement de la physique*. Cahiers du français contemporain, INRP.

La construction de points de vue partagés sur l'enseignement du vivant au sein d'une communauté discursive de pratiques professionnelles

Roy Patrick [(1)], Marlot Corinne [(2)]
[(1)] Unité de recherche Enseignement et Apprentissage des Disciplines Scientifiques (UR EADS), Haute école pédagogique Fribourg, Suisse
[(2)] Unité d'enseignement et de recherche Mathématiques et Sciences (UR MS), Haute école pédagogique du canton de Vaud, Suisse

Résumé

Une Communauté Discursive de Pratiques Professionnelles (CDPP) fondée sur le dispositif d'une ingénierie didactique coopérative a été mise en place en Suisse romande afin d'engager un collectif de chercheur·es didacticien·nes et d'enseignant·es dans le traitement de problèmes d'enseignement-apprentissage sur la caractérisation du vivant au cycle 1 du primaire. La dimension discursive de cette communauté est portée par un système d'objets bifaces qui agissent comme outils langagiers de pilotage et de problématisation de la pratique en favorisant la construction de points de vue partagés (activité de sémiose) sur un enseignement problématisé du vivant abordé dans le cadre d'une démarche d'investigation. Les analyses de pratiques langagières issues d'un débat d'expert·es sous le format d'un entretien d'autoconfrontation croisée mettent en évidence des tentatives de compréhension des situations de classe par les acteur·rices au moyen de certains concepts didactiques portés par les objets bifaces et une activité de sémiose qui

se déploie par des opérations logico-discursives caractérisées par des tâches épistémiques à visée compréhensive.

Introduction

Dans le cadre d'un projet de recherche en Suisse romande mené depuis 2017, une Communauté Discursive de Pratiques Professionnelles (CDPP) (Marlot et Roy, 2020) a été mise en place afin d'engager un collectif de chercheur·es (CH) didacticien·nes et d'enseignant·es dans le traitement de problèmes d'enseignement-apprentissage sur la caractérisation du vivant en cycle 1. Dans ce projet, l'acculturation des jeunes élèves au monde de la science est envisagée par l'institution d'une « communauté discursive disciplinaire scolaire » (Bernié, 2002; Jaubert et al., 2004) entre l'enseignant·e et les élèves, communauté au sein de laquelle les élèves sont appelé·es à acquérir et mobiliser des « modes d'agir-parler-penser »[11] spécifiques des sciences. Or, l'institution d'une telle communauté implique de la part de l'enseignant·e de disposer de certains « savoirs de métier » (Brière et Simonet, 2021) portant à la fois sur des « savoirs à enseigner » et des « savoirs pour enseigner » (Hofstetter et Schneuwly, 2009) et pouvant l'aider *in fine* à concevoir, conduire, analyser et adapter des situations d'enseignement. Ces savoirs résultent d'une « fécondation réciproque des savoirs issus de l'expérience et des savoirs issus de la recherche » (Morrissette et Desgagné, 2009, p. 119) et ont le mérite d'être reconnus dans les communautés de référence des acteur·rices de la recherche. Dans une CDPP, les CH et les enseignant·es se positionnent en tant qu'expert·es de leurs propres pratiques professionnelles, agissent avec les savoirs et savoir-faire qui sont les leurs et construisent des savoirs inédits au contact des autres types d'acteur·rices.

Cette contribution s'intéresse à la nature des pratiques langagières en jeu dans la construction de points de vue partagés (activité de sémiose) sur un enseignement problématisé du vivant au travers d'une démarche d'investigation et privilégiant une entrée par les fonctions biologiques (celle du développement/croissance). La construction de cet arrière-plan partagé entre les

[11] Jaubert, Rebière et Bernié (2004, p. 52) considèrent que l'apprentissage disciplinaire implique une « re-construction en contexte scolaire des savoirs dépendants des communautés humaines de référence et de leurs modes d'agir-parler-penser ».

acteur·rices rend possible la production de ressources didactiques visant à faire élaborer des « savoirs raisonnés » (Orange, 2005) chez les élèves, et permet ainsi d'aller au-delà d'un enseignement dichotomique vivant/non vivant souvent promu dans les manuels scolaires.

La communauté discursive de pratiques professionnelles

La CDPP est un dispositif de recherche participative dont les assises conceptuelles sont articulées autour de quatre construits mis en relation (Marlot et Roy, 2020) : la communauté de pratiques (Wenger, 1998), (2) l'ingénierie didactique coopérative (Morales et al., 2017), (3) la communauté discursive disciplinaire scolaire (Bernié, 2002; Jaubert et al., 2004) en tant que modélisation pensée à l'origine pour l'apprentissage scolaire disciplinaire que nous transposons à une autre sphère, celle d'une communauté de pratiques professionnelles impliquée dans une ingénierie didactique coopérative, et (4) l'objet biface (OB) (Marlot et al., 2017) en tant qu'objet frontière[12] particulier (Star, 1989). L'OB est un objet langagier, discursif, hybride et symbolique[13] qui comporte une face faisant écho à un concept théorique/didactique et une autre face faisant écho à une situation de classe pouvant à terme faire office d'« exemple emblématique »[14] (Morales et al., 2017). Cet objet assure une fonction d'interface entre les

[12] L'objet-frontière a été développé afin de répondre à une problématique de description et de caractérisation de processus au sein desquels des acteur·rices issu·es de mondes sociaux différents sont appelé·es à coopérer (Trompette et Vinck, 2009).

[13] Cet objet est : a) *langagier* par le fait qu'il soutient la construction de significations partagées sur des construits théoriques ou des situations de classe en s'appuyant sur les langages spécifiques d'acteur·rices issu·es de différents mondes sociaux ; b) *discursif* par le fait qu'il articule deux orientations complémentaires au sens de Longhi (2008, p. 109) : « l'objet, dans une perspective d'indexicalité du sens, synthétise les différentes propriétés conférées par l'activité langagière lors des dynamiques sémantiques, et l'apport discursif éclaire l'argumentativité des objets en permettant de repérer leurs dimensions énonciatives » ; c) *hybride* par le fait qu'il met en écho, par ses deux faces, des éléments appartenant à la fois au monde conceptuel et au monde réel des phénomènes d'enseignement-apprentissage exprimés au travers des situations de classe ; d) *symbolique* par le fait qu'il est porteur de sens sur certaines dimensions d'un phénomène d'enseignement-apprentissage.

[14] « Un exemple emblématique peut s'apparenter à une référence commune. Il est partagé dans un même groupe de personnes. Il prend appui sur une action effective, vécue, réalisée, ou rapportée par l'un des membres du groupe. […] L'exemple emblématique peut alors être étudié, compris, et imité de manière plus ou moins créative par les membres du groupe. » (Glossaire de la TACD de l'ESPE Bretagne : http ://tacd.espe-bretagne.fr/glossaire/).

univers professionnels des CH didacticien·nes et des enseignant·es en articulant le concret et l'abstrait, plus spécifiquement en favorisant la *concrétisation de l'abstrait* par des pratiques d'enseignement s'appuyant sur des fondements théoriques et l'*abstraction du concret* par une interprétation/justification de ces pratiques sur la base de fondements théoriques, selon des modalités coopératives. Le fonctionnement de la CDPP répond à quatre principes :

1. Engager les acteur·rices dans un contexte social signifiant où il a un problème à résoudre (Jaubert et al., 2004; Vygotski, 1978). Il s'agit entre autres de partager des outils culturels et des systèmes sémiotiques appropriés afin de construire collectivement des solutions adaptées à des problèmes de métier.

2. Encourager des modalités d'interaction permettant aux acteur·rices d'endosser une pluralité de positions énonciatives par rapport aux savoirs en jeu ; les savoirs n'étant pas exclusifs aux communautés de référence qui les ont produits (Jaubert et Rebière, 2021).

3. Problématiser la pratique des enseignant·es sur l'enseignement du vivant. Par problématisation de la pratique (Prével, 2018), nous entendons toute activité de coanalyse qui, en appui sur un système de concepts théoriques/didactiques, consiste à faire entrer des enseignant·es dans un nouveau régime de description spécifique de leur activité : celui de la modélisation qui donne lieu à l'établissement d'une relation dynamique entre l'abstrait et le concret[15]. Cette problématisation a pour but d'assurer une conversion des connaissances professionnelles acquises par l'expérience quotidienne en des connaissances didactiques formalisées (savoirs de métier) afin de conférer aux enseignant·es un plus grand pouvoir d'agir en situation(s) (Grosjean, 2011). L'acquisition de ces savoirs porte à la fois sur des « savoirs à enseigner » (qu'est-ce que le vivant ? / quels sont les principaux concepts à faire acquérir à de jeunes élèves ?) et des « savoirs pour enseigner » (quelles approches ou démarches faut-il mettre

[15] L'abstrait se réfère aux éléments du monde conceptuel (construits théoriques) alors que le concret se réfère aux éléments du monde réel des phénomènes d'enseignement-apprentissage exprimés au travers des situations de classe.

en œuvre pour faire acquérir ces concepts aux élèves ?). C'est au moment de la phase de coanalyse (débat d'expert·es) que les CH didacticien·nes portent une attention particulière à faire entrer les enseignant·es dans une modélisation de leur activité en prenant en compte le fait qu'ils·elles n'ont pas nécessairement l'habitude dans leur quotidien de l'analyser ou de l'expliciter sur la base d'outils théoriques.

4. Construire des points de vue partagés au moyen d'une activité de sémiose. Il s'agit ici de s'appuyer sur un système d'OB dont les concepts théoriques/didactiques permettent de construire des points de vue partagés entre les divers·es acteur·rices autour d'un enseignement problématisé du vivant (ceux-ci sont exposés plus loin). Cette notion est une notion clé qui se donne à la fois comme condition d'apprentissage et comme objectif à atteindre. Quant à l'activité de sémiose, elle consiste à fabriquer du sens dans une activité ou une situation, en l'occurrence celle relative au débat d'expert·es soigneusement préparé par les CH. Cette activité implique des signes, où un signe est défini comme tout ce qui communique quelque chose, généralement appelé un sens, à l'interprète du signe (Miéville, 2014).

La figure n°1 présente la modélisation du fonctionnement de la CDPP avec le système cohésif d'OB. Ce dispositif intègre le processus dynamique des 3CO (COsituation, COconstruction et COanalyse) et vise à rapprocher les pratiques et les langages des acteur·rices sur l'éducation scientifique et son enseignement en classe. Tout le travail de construction d'un « espace interprétatif partagé de significations » (Ligozat et Marlot, 2016) sur les objets d'étude entre les acteur·rices repose sur une stratégie pilotée par les CH didacticien·nes qui consiste à introduire, puis enrichir un système d'OB au fur et à mesure de l'évolution des échanges. Dans ce fonctionnement, les CH didacticien·nes « tiennent la lanterne » (Ligozat et Marlot, 2016) pour apporter des éclairages sur les aspects épistémique, épistémologique et didactique des savoirs en jeu, même si ce portage se partage progressivement au fur et à mesure que se développe le processus de coopération. Quant aux enseignant·es, ils·elles s'engagent à prendre en compte, du moins à se positionner, sur les éléments de connaissances théoriques introduits par les CH, et à faire part de la manière dont ils·elles s'en saisissent pour concevoir leurs séquences d'enseignement (Marlot et Roy, 2020).

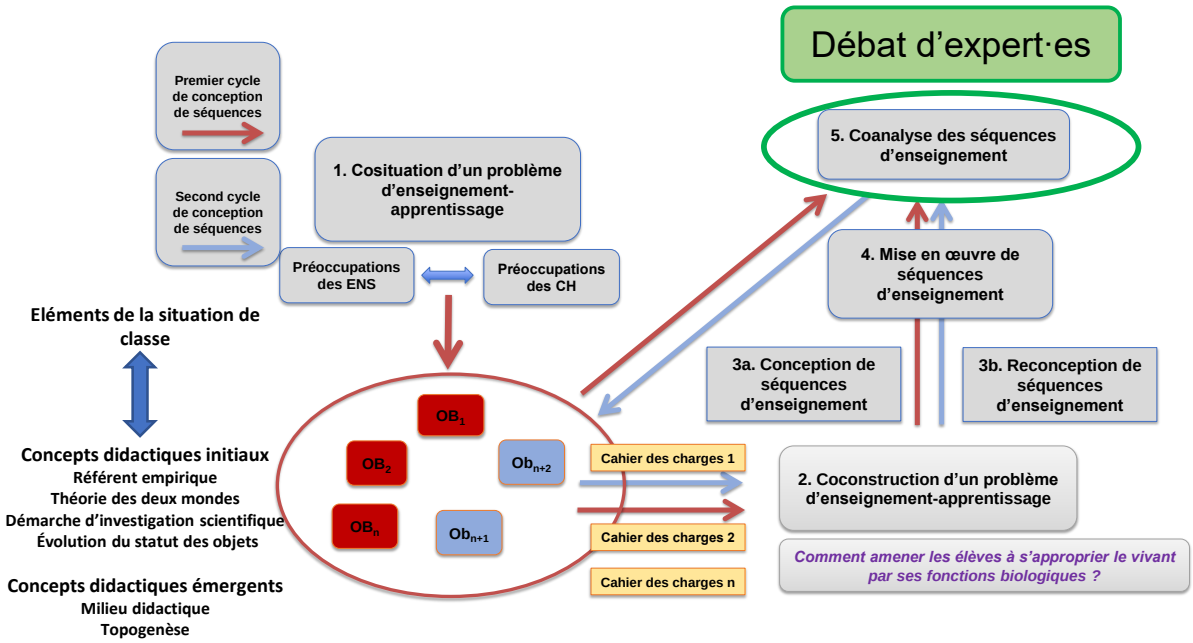


Figure n°1 : Modélisation du fonctionnement itératif de la communauté discursive de pratiques professionnelles sur deux années (Marlot et Roy, 2020, p. 173)

La CDPP fonctionne selon un processus itératif où le système d'OB s'enrichit progressivement dans le temps, notamment entre le premier cycle (en rouge) et le second cycle (en bleu) de conception de séquences d'enseignement. Le point de départ est la cosituation d'un problème d'enseignement-apprentissage (phase 1) qui consiste à cristalliser les préoccupations de métier des CH didacticien·nes et des enseignant·es en les associant explicitement à des OB pour les rendre opératoires didactiquement. Cette phase est suivie de la phase de coconstruction du problème d'enseignement-apprentissage (phase 2) où il s'agit de transformer les questionnements pratiques des enseignant·es (par exemple, comment faire en sorte que les élèves puissent distinguer le vivant du non-vivant ?[16]) en des questionnements problématiques (par exemple, comment amener les élèves à s'approprier le vivant par ses fonctions biologiques ?) afin de les engager dans une démarche d'investigation riche en termes de construction de « savoirs raisonnés » (Orange, 2005). Pour ce faire, les CH didacticien·nes veillent à outiller les modèles opératoires des enseignant·es en mobilisant volontairement des

[16] Cette question véhicule une conception dichotomique et non problématisée du vivant.

OB dont les concepts didactiques initiaux[17] se réfèrent notamment aux obstacles épistémologiques des élèves sur le vivant (Rolland et Marzin, 1996), au passage d'une démarche de familiarisation pratique (Coquidé, 2007) à des formes d'investigation scientifique (Hasni et Samson, 2008), à l'évolution du statut des objets en classe de sciences (Bisault et Rebiffé, 2011), ainsi qu'aux modèles sous-jacents à l'apprentissage des sciences comme le processus de problématisation (Orange, 2005) et la théorie des deux mondes (Tiberghien, 1994). Dans la phase 3 (3a et 3b), les enseignant·es s'appuient sur des règles de conception, générales sur l'enseignement des sciences et spécifiques sur l'enseignement de vivant, d'un cahier des charges co-élaboré par les acteur·rice·s et usent de leur imagination afin de (re)concevoir leurs séquences d'enseignement. Une fois les séquences conçues entre enseignant·es et mises en œuvre dans les classes (phase 4), elles font l'objet d'une coanalyse dans le cadre d'un débat d'expert·es prenant la forme d'un entretien d'autoconfrontation croisée (Clot et al., 2000) (phase 5).

C'est sur ce dernier moment que nous nous focalisons. Celui-ci active une problématisation de la pratique (Prével, 2018) par une mise en écho des concepts didactiques initiaux (apportés par les CH dès la cosituation du problème) avec les situations de classe observées et décrites par les acteur·rices. Ce processus conduit par ailleurs à l'émergence d'autres concepts didactiques (outre ceux mobilisés initialement) comme le concept de « topogenèse » (partage des responsabilités enseignant·e/élèves dans les différentes phases de mise en œuvre d'une démarche d'investigation) qui fera l'objet d'une analyse des pratiques langagières dans le cadre de cette contribution.

Cadre conceptuel

Le cadre conceptuel relève d'une approche comparatiste (Mercier et al., 2002) en articulant : une conception du développement professionnel par la problématisation de la pratique (Prével, 2018) avec (2) une approche énonciative et interactionniste du langage selon une conception historico-culturelle de la transmission (Jaubert et Rebière, 2021), tout en

[17] Les tentatives de concrétisation de ces concepts didactiques initiaux qui fonctionnent en système donnent lieu à une diversité de situations de classe.

mobilisant des construits des sciences du langage (Grize, 1998; Miéville, 2014) pour rendre compte de la construction des objets de discours sur un enseignement problématisé du vivant. Plus spécifiquement, nous mobilisons le cadre de l'interactionnisme sociodiscursif (Bronckart, 2009) qui se focalise sur le rôle que jouent les pratiques langagières dans la constitution et le développement de la pensée consciente des acteur·rices au sein d'un dispositif de formation professionnalisant comme celui de la CDPP. Nous considérons que la CDPP engage les acteur·rices dans une action conjointe de schématisation[18] des objets de discours[19] autour d'un enseignement problématisé du vivant où chaque acteur·rice participe, par ses interventions, à la coconstruction de savoirs de métier dans ce domaine de connaissance. Nous réalisons une analyse de la schématisation des objets discours sous l'angle des opérations logico-discursives, c'est-à-dire les modes de pensée (ou raisonnements) mobilisés par les acteur·rices pour rendre compte de leur activité en situation, en particulier pour produire des discours d'action visant à « faire raisonner » sur ces situations, que ce soit pour les rendre intelligibles, modifier des points de vue à leur égard ou encore pour transformer des connaissances (Miéville, 2014). Cette analyse a pour but de cerner en quoi les OB orientent la production des objets de discours sur les modalités d'un enseignement problématisé du vivant et nous conduit à poser la question de recherche générale suivante : *Comment s'opère la schématisation des objets de discours sur un enseignement problématisé du vivant entre les acteur·rices lors de la mise en œuvre d'un débat d'expert·es ? Et selon quel partage des responsabilités ?*

[18] La schématisation est un processus qui se réfère à la fois à la production et au résultat d'une activité de sémiose discursive comme le relève Grize (1998, p. 121) : « Une schématisation présente, à un interlocuteur B, la façon dont un locuteur A voit quelque réalité, littéralement elle la lui propose, elle la lui donne à voir. C'est donc une Vorstellung, une représentation. ».

[19] Les objets de discours (objets qui naissent du discours) renvoient notamment aux éléments de solutions, aux données et aux nécessités dans une construction de significations partagées au regard du problème d'enseignement-apprentissage traité (Prével, 2018).

Méthodologie d'analyse des données

Le principal enjeu de cette contribution est d'ordre méthodologique et concerne l'analyse des discours produits dans le cadre d'un débat d'expert·es. Nous proposons une méthodologie sur 3 niveaux d'analyse imbriqués dont le premier niveau et les deux suivants se déploient respectivement lors de la préparation et de la mise en œuvre de ce débat (figure n°2). L'analyse de niveau 3 (analyse de la schématisation des objets de discours) suppose d'appréhender à la fois les opérations logico-discursives (OLD), l'évolution des positions énonciatives et la secondarisation des discours. Seule l'analyse des OLD sera traitée dans ce chapitre.

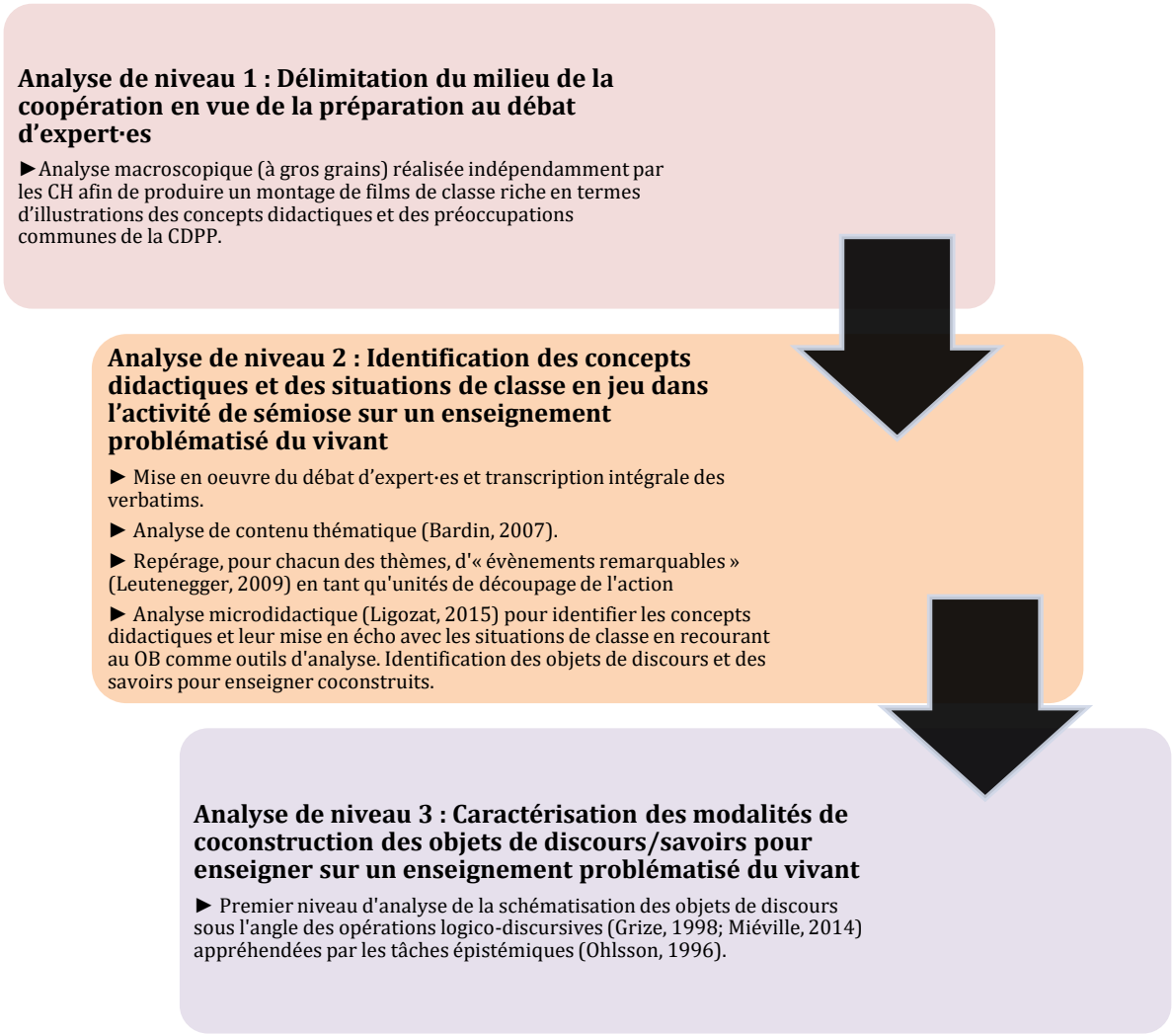


Figure n°2 : Méthodologie pour rendre compte de la schématisation des objets de discours autour d'un enseignement problématisé du vivant dans le cadre d'une CDPP

Analyse de niveau 1 : Délimitation du milieu de la coopération en vue de la préparation au débat d'expert·es

Le montage de films de classe d'environ 20 minutes est réalisé par les CH à partir de moments dans les enregistrements vidéos qui, de leurs points de vue, sont potentiellement riches en termes d'illustrations des concepts didactiques introduits dans la CDPP et (2) de situations représentatives des préoccupations manifestées dans la CDPP lors de la cosituation du problème d'enseignement-apprentissage. Ce montage a permis de saisir des moments clés de l'activité de 3 enseignant·es filmé·es (sur environ 15 séances pour 3 enseignant·es). Nous nous focalisons ici sur une des préoccupations récurrentes, celle des rituels de classe caractéristiques de l'activité scientifique. Ces rituels ont été imaginés par les enseignant·es afin de faire entrer progressivement leurs élèves dans la culture scientifique. Les CH ne sont pas intervenu·es dans la conception des séances. Il s'agissait pour les enseignant·es de la CDPP d'engager les élèves dans une démarche d'investigation sur la caractérisation du vivant en utilisant une mallette « du·de la petit·te chercheur·e » comportant un ensemble d'objets (figure n°3) : des *objets symboliques* pour se donner une posture de chercheur·e ou expliquer un processus scientifique (ex. : un tablier de laboratoire pour l'expérimentation, un cadre ou une loupe pour expliquer un processus d'observation), des *objets instruments* pour mesurer/comparer des grandeurs physiques (ex. : un mètre), des *objets outils* pour collecter ou représenter des données (ex. : un carnet de vie pour consigner des couplets âge-taille de la naissance à l'âge actuel ou un système de toises pour représenter de manière dynamique l'évolution de ces couplets dans le temps), ou encore des *objets faisant office de données brutes* (ex. : des photos de la naissance à l'âge actuel, des faireparts, etc.). Il importe de souligner que cette étude ne vise pas la production d'une analyse didactique en termes d'effets et de pertinence de ce choix de dispositif (la mallette) sur l'acculturation scientifique des élèves, mais s'intéresse plutôt à la manière dont se coconstruisent les points de vue partagés entre les acteur·rices lors de la coanalyse des moments d'enseignement-apprentissage.

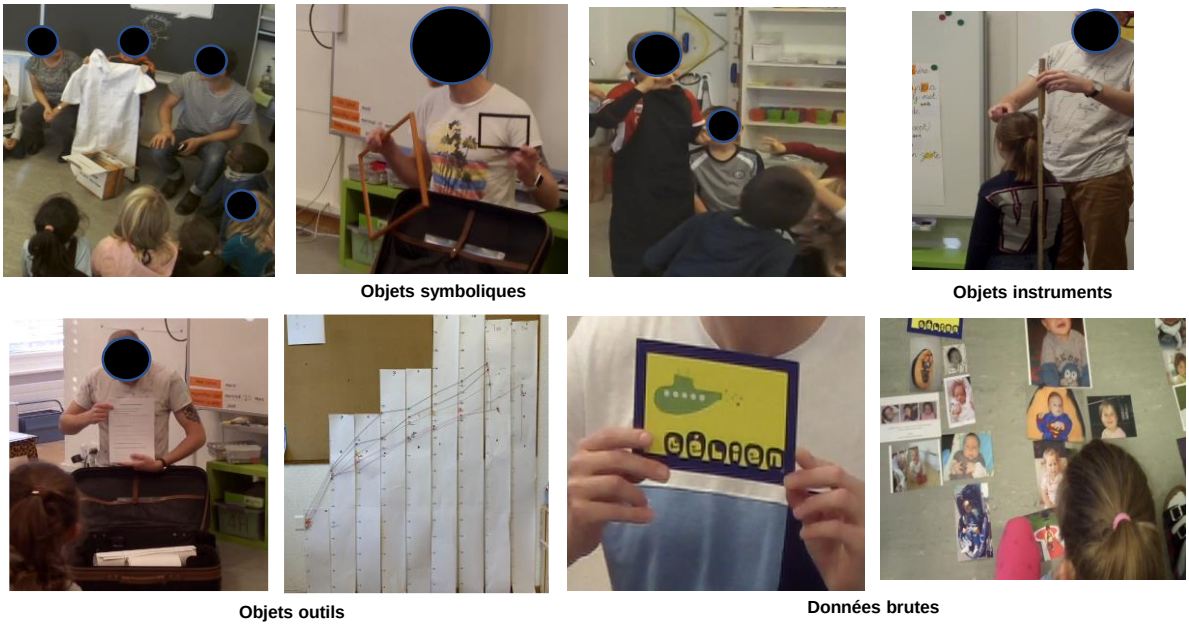


Figure n°3 : La mallette du·de la petit·te chercheur·e associée au rituel de l'activité scientifique

Analyse de niveau 2 : Identification des concepts didactiques et des situations de classe en jeu dans l'activité de sémiose sur un enseignement problématisé du vivant

Le montage visionné donne lieu à un débat d'expert·es en appui sur diverses traces de l'activité des enseignant·es (planification d'enseignement, productions d'élèves ou autres artéfacts). Le débat d'expert·es a fait l'objet d'un enregistrement vidéo et d'une transcription intégrale sous forme de verbatims (durée approximative de 2 h pour un montage de films de classe de 20 minutes). Une analyse de contenu thématique (Bardin, 2007) réalisée sur ces verbatims a permis de dégager un certain nombre de thèmes, dont celui de la posture et du rôle de l'enseignant·e et des élèves dans une démarche d'investigation. À l'intérieur de ce thème, nous avons repéré un épisode significatif que nous assimilons à un « évènement remarquable » (Leutenegger, 2009) de la sémiose en termes de construction de points de vue partagés à propos des savoirs pour enseigner sur la caractérisation du vivant. Il s'agit d'un épisode où les objets de discours ont porté sur le partage des responsabilités enseignant·e-élèves au sein d'une démarche d'investigation et au sein duquel le concept didactique de topogenèse a émergé. Cet épisode se développe sur 21 tours de parole partagés par 5 acteur·rices (2 CH et 3 enseignant·es). Une analyse microdidactique (Ligozat, 2015) a été appliquée sur celui-ci afin d'identifier les concepts didactiques en jeu (qu'ils soient exprimés

dans un langage implicite, hybride ou spécialisé) et leur mise en écho avec les situations de classe observées et décrites par les acteur·rices (annexe 2). Nous avons donc cherché à identifier dans les échanges, ces OB caractéristiques de la tentative d'opérationnalisation de certains concepts didactiques (dialectique abstrait/concret).

Analyse de niveau 3 : Caractérisation des modalités de coconstruction des objets de discours/savoirs pour enseigner sur un enseignement problématisé du vivant

Le dernier niveau d'analyse consiste à réaliser une analyse de la schématisation des objets de discours portant ici sur le concept émergeant de topogenèse. Nous abordons cette analyse par l'identification des opérations logico-discursives (raisonnements) mobilisées par les acteur·rices lorsqu'ils·elles expriment, confrontent ou construisent de nouveaux points de vue sur ce concept. La caractérisation de ces OLD est faite au moyen des tâches épistémiques (TE) développées par Ohlsson (1996) pour caractériser les raisonnements (ex. : écrire, expliquer, argumenter, prédire, critiquer, définir) d'acteur·rices dans des situations de production orale ou écrite, et dont les types de raisonnements ont été étendus à ceux appartenant aux 6 niveaux de cognition d'Anderson et al. (2001) (mémoriser, comprendre, appliquer, analyser, évaluer et créer) (tableau n°1, annexe 1). À chacun des tours de paroles, nous avons codé les TE en jeu dans la (co)formulation des objets de discours portant sur le concept de topogenèse. Nous avons également rendu compte de la circulation des savoirs en identifiant les acteur·rices impliqué·es dans leur production : CH 1 ou CH 2 (CH), enseignant 1 (FLO), enseignante 2 (MAR) et enseignante 3 (MEL).

Résultats

Dans l'épisode analysé qui a porté sur le partage des responsabilités enseignant·e-élèves au sein d'une démarche d'investigation, la signification du concept didactique de topogenèse s'est construite progressivement par une mise en écho avec des situations de classe se référant au rituel de la mallette du·de la petit·te chercheur·e. Nous développerons successivement les niveaux 2 et 3 de l'analyse.

Niveau 2 : Identification des concepts didactiques et des savoirs pour enseigner

Le concept de topogenèse a émergé par des reformulations successives qui se sont enrichies au fur et à mesure de l'avancée du débat d'expert·es et qui ont été exprimées selon les tours

de paroles, dans un langage implicite, hybride ou spécialisé (annexe 2). Nous explicitons qualitativement les modalités de coconstruction de ces objets de discours en lien avec le concept émergeant de topogenèse. Au tour de parole 1 (Tdp1), FLO interprète/généralise la gestion des propositions (hypothèses) des élèves dans une démarche d'investigation en soulignant qu'il appartient aux élèves de les formuler, mais à l'enseignant·e de les réorienter ou retravailler afin qu'elles puissent être réutilisées. Au Tdp 3, il décrit/compare sa manière de conduire la démarche d'investigation par rapport à celles d'autres enseignant·es en relevant « qu'on peut faire différemment ». Il interprète que cette démarche qui autorise la construction des connaissances n'est pas forcément linéaire dès lors qu'on s'appuie sur les propositions des élèves (« certains points sont arrivés vers la fin alors que d'autres ont été amenés en cours de la démarche »). Au Tdp 4, MAR argumente en faveur de l'interprétation de FLO sur la nécessité de s'appuyer sur les propositions des élèves dans la mise en œuvre d'une investigation. Elle généralise la position de l'enseignant·e dans une telle démarche, à savoir qu'il·elle « doit réajuster, réadapter en fonction de ce qu'il·elle reçoit des élèves ». C'est là une représentation courante en cycle 1 du pilotage par « ce qui vient des élèves ». Au Tdp 12, CH1 explique que l'enseignement du vivant selon la démarche scientifique peut se concrétiser selon différentes modalités, dont le degré d'autonomie accordé aux élèves. Elle interprète ce positionnement attribué par MAR en posant la question de la responsabilité de l'enseignant·e dans le pilotage en lien avec celle des élèves (qui prend en charge quoi ?). Ce faisant, CH1 définit le concept de topogenèse « ça s'appelle la topogénèse », et l'appréhende comme indicateur pour caractériser des types de séquences. L'introduction de ce concept didactique se fait par un enrichissement progressif des propositions de FLO et de MAR. Au Tdp 13, FLO définit ce concept en considérant l'alternative au positionnement précédent (la part de l'enseignant·e). Il explique que ce concept implique à la fois une introduction et une adaptation à des propositions par l'enseignant·e ou par les élèves. Au Tdp 15, MEL, en faisant référence au rituel de la mallette, compare implicitement la phase de problématisation (formulation du problème et gestion des propositions/hypothèses des élèves) avec celle d'investigation (construction de la preuve pour valider ces propositions/hypothèses). Elle explique que la première phase nécessite un guidage plus conséquent de la part de l'enseignant·e et juge que la seconde est plus facile du point de vue du pilotage en raison de la position que peut occuper l'enseignant·e, soit celle d'accompagnateur·rice. Elle exemplifie ses propos par l'analogie de « l'enseignant·e qui ne rame pas seul·e sur sa barque ». Ainsi, MEL mobilise le concept de topogenèse en le rapprochant d'une notion relativement connue dans le métier (le guidage) et associe l'idée d'une partition (plus ou moins), ainsi que celle du

poids (de l'enseignement) partagé avec les élèves. Raisonner en termes de topogenèse (sans le nommer), lui permet de comprendre en quoi la mise en place du rituel de la mallette rend la pratique d'enseignement « plus facile ». Elle crée du lien en remobilisant le concept de preuve discuté en amont, ce qui amorce une mise en système/discours d'OB. Au Tdp 16, CH1 fait écho à ce que dit MEL « l'enseignant·e ne rame pas seul·e sur sa barque » en décrivant la part des élèves dans la relation topogénétique par une expression forte : « les élèves sont associé·es ». Au Tdp 17, MEL compare le potentiel du rituel de la mallette où il s'agit pour les élèves de s'engager dans un processus de preuve avec une situation de classe antérieure et connue du groupe (quand on mettait les choses en tas). Au Tdp 20, CH2 met en écho plusieurs concepts connus (milieu didactique, preuve, investigation) afin d'interpréter des relations topogénétiques dans les situations de classe effectivement observées (rituel/valise). En appui sur le discours de MEL, il explique que le rituel de la mallette (ou les autres) permet d'assurer le fil rouge de l'investigation. Il élargit la définition de la topogenèse en l'associant aux postures que peuvent prendre les acteur·rices en situations, et en la précisant avec l'idée de partage des responsabilités du point de vue des tâches que peuvent prendre en charge l'enseignant·e et les élèves dans le système didactique de la classe. Ces propos permettent de conclure sur le concept de topogenèse par un renforcement de la mise en système des OB. Enfin, au Tdp 21, CH1 conclue l'échange en instituant, sans le nommer explicitement, l'OB « rituel/topogenèse » en tant que partage des responsabilités. Cette analyse de pratiques langagières sur un épisode court de notre corpus met en évidence que le débat d'expert·es a permis aux acteur·rices de se donner mutuellement une signification renouvelée du partage des responsabilités enseignant·e-élèves dans le cadre d'une démarche d'investigation, et donc d'acquérir certains savoirs de métier/savoirs pour enseigner sur cet aspect important relatif à la conduite des démarches d'investigation.

Niveau 3 : Analyse de la schématisation des objets de discours par l'identification des opérations logico-discursives

Le tableau n°2 montre que la (co)formulation des objets de discours sur la topogenèse s'est faite au moyen de 12 TE relevant exclusivement de 3 domaines de cognition d'Anderson et al. (2001) : mémoriser (extraire les connaissances significatives issues de sa mémoire à long terme), comprendre (construire la signification d'informations reçues) et évaluer (porter un jugement sur la base de critères et de normes). Cette partition semble témoigner de la co-construction de points de vue plus ou moins partagés. Les six TE du domaine de cognition « comprendre » (comparer, définir, exemplifier, expliquer, généraliser et interpréter) sont de

loin celles les plus mobilisées (avec 24 occurrences pour l'ensemble des tours de parole) pour la (co)formulation des objets de discours sur la topogenèse, ce qui renseigne sur la visée compréhensive du débat d'expert·es. Hormis les TE « interpréter » et « conclure » qui sont davantage prises en charge par les CH et qui révèlent le souci de pilotage, le partage des responsabilités CH/enseignant·es par rapport aux différentes TE est relativement équitable, ce qui met en évidence un positionnement symétrique dans la construction des points de vue partagés sur la topogenèse, voire une certaine symétrie dans la circulation des rôles sociaux entre les acteur·rices.

Tableau n°2 : Tâches épistémiques mobilisées par les acteur·rices dans l'activité de sémiose sur un enseignement problématisé du vivant

Domaines de cognition d'Anderson et al. (2001)	**Tâches épistémiques**	**Partage des responsabilités selon les tours de parole (CH-FLO-MAR-MEL)**	**Nombre de tours de parole**	**Prise en charge ENS**	**Prise en charge CH**
Niveau 1 : Mémoriser Extraire les connaissances significatives issues de sa mémoire à long terme	Décrire	Tdp3-Tdp15-Tdp16	5	4	1
	Énoncer	Tdp4			
	Sélectionner	Tdp1			
Niveau 2 : Comprendre Construire la signification d'informations reçues	Comparer	Tdp3-Tdp12-Tdp17	24	12	12
	Définir	Tdp12-Tdp13-Tdp15-Tdp20			
	Exemplifier (illustrer à l'aide d'exemples)	Tdp15-Tdp17-Tdp20			
	Expliquer	Tdp12-Tdp13-Tdp16-Tdp20			
	Généraliser	Tdp1-Tdp4-Tdp21			
	Interpréter	Tdp1-Tdp3-Tdp12-Tdp14-Tdp15-Tdp20-Tdp21			
Niveau 5 : Évaluer Porter un jugement sur la base de critères et de normes	Argumenter	Tdp4	7	5	3
	Conclure	Tdp20-Tdp21			
	Évaluer	Tdp4-Tdp15-Tdp17-Tdp21			

Conclusion et discussion

Dans cette contribution, nous avons montré que les analyses de pratiques langagières issues d'un débat d'expert·es mettent en évidence des tentatives de compréhension des situations de classe par les acteurs·rices au moyen de certains concepts didactiques portés par les OB et une activité de sémiose qui se réalise essentiellement par des TE à visée compréhensive selon une certaine symétrie et une circulation des rôles sociaux a priori dévolus à chaque catégorie d'acteur·rices. Ces raisonnements en jeu dans la (co)formulation des objets de discours se réfèrent à des « modes d'agir-parler-penser » spécifiques de l'institution progressive de la CDPP. En activant une problématisation de la pratique au moyen d'un système cohésif d'OB, le débat d'expert·es constitue en soi un moment clé de l'enquête collaborative, car il donne la possibilité aux acteur·rices de construire des points de vue partagés sur certains aspects des phénomènes d'enseignement-apprentissage sur le monde vivant et une signification renouvelée des situations de classe pouvant être emblématiques de cet enseignement.

En étant placé·es en situation d'entrevoir et de s'essayer à d'autres perspectives et moyens de réalisation de leur activité, les enseignant·es ont ainsi l'occasion de coconstruire de nouveaux savoirs de métier résultant d'un tissage entre savoirs savants et savoirs professionnels (Brière et Simonet, 2021, p. 51). Cette acquisition contribue à l'accroissement de leur pouvoir d'agir en situation(s) (Grosjean, 2011) ou de leur agentivité (Arnold et Clarke, 2014). Dans les termes de Pastré et al. (2006), ce processus de construction des savoirs de métier engage une reconfiguration des « schèmes d'action » des enseignant·es et a pour conséquence un développement de leur professionnalité dans ce domaine de connaissances. Cela pourrait s'expliquer par le choix de stratégie de pilotage par les OB de la CDPP qui convie les enseignant·es à débattre sur une variété de situations de classe (et en de multiples occasions) en les mettant en écho avec des concepts didactiques pouvant faire office de « concepts pragmatiques » organisateurs de leur activité. En effet, Pastré et al. (2006, p. 1) soulignent, d'une part, que toute activité humaine « est organisée sous forme de schèmes, dont le noyau central est constitué de concepts pragmatiques », et d'autre part, qu'un concept pragmatique « ne se forme pas de manière isolée, mais en relation avec d'autres concepts, avec lesquels il forme système ; en outre il se forme au cours de l'activité et de l'expérience, dans la rencontre avec une variété de situations, dont les propriétés sont différentes (Ibid., p. 6-7). C'est ainsi que le système cohésif d'OB joue un rôle central dans la réorganisation de l'activité des enseignant·es.

Si les postures que peuvent prendre l'enseignant·e et les élèves dans la mise en œuvre des démarches d'investigation ont été au cœur des préoccupations des acteur·rices dans ce court épisode du débat d'expert·es, elles sont fortement documentées dans la littérature scientifique. Plusieurs auteur·rices dont Windschitl (2003) mettent en évidence que la posture de l'enseignant·e peut, selon les phases d'une démarche d'investigation, osciller sur un continuum allant d'une posture transmissive à une posture du laisser-faire, en passant par une posture médiative ; cette dernière peut se concrétiser par un large spectre d'actions de l'enseignant·e qui ont pour but d'accompagner progressivement les élèves à réaliser par eux·elles-mêmes les tâches épistémiques associées à cette démarche.

Cette contribution ouvre la perspective de poursuivre nos analyses de pratiques langagières sur d'autres aspects de la schématisation (évolution de la position/posture énonciative et secondarisation des discours) et sur d'autres thèmes et épisodes de notre corpus afin de renforcer notre hypothèse sur le potentiel des OB à faire construire des points de vue partagés et des savoirs de métier sur un enseignement problématisé du vivant chez les acteur·rices de cette communauté.

La méthodologie d'analyse des pratiques langagières que nous avons développées et les résultats que nous pouvons dégager de cette étude présentent des limites sur au moins trois plans. Sur le plan de la fidélité, les données ont été analysées sur la base d'un épisode relativement restreint du corpus et pour un thème très spécifique du débat d'expert·es (celui du partage des responsabilités enseignant·e-élèves au sein d'une démarche d'investigation), alors que ce débat a porté sur plusieurs autres thèmes comme celui de la mesure des grandeurs physiques et la modélisation du vivant avec des systèmes sémiotiques. Sur le plan de l'objectivité, malgré le fait que nous avons pris soin de procéder à une validation interjuge pour le codage des TE mobilisées par les acteur·rices dans la construction des objets de discours, il n'en demeure pas moins que les interprétations portées sur les données sont empreintes de subjectivité. Enfin, sur le plan de la transférabilité, nous ne pouvons prétendre que les résultats obtenus sont transférables à d'autres contextes de mise en œuvre d'une CDPP sur un enseignement du vivant en raison de la grande diversité des préoccupations des acteur·rices sur cet enseignement et des choix pouvant être retenus par ceux·celles-ci pour circonscrire le milieu de la coopération. Malgré ces considérations, nous soulignons le caractère original et le potentiel de cette méthodologie d'analyse des pratiques langagières pour produire des résultats en termes de modélisation du processus de professionnalisation des enseignant·es au sein d'une CDPP.

Références bibliographiques

Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., Airasian, P., Cruikshank, K., Mayer, R., Pintrich, P., Raths, J. et Wittrock, M. (2001). A taxonomy for learning, teaching and assessing: A revision of Bloom's taxonomy. In A. F. Artz et E. Armour-Thomas (Éds.), *Development of a cognitive-metacognitive framework for protocol analysis of mathematical problem solving in small groups. Cognition and Instruction* (Vol. 9, p. 137-175). Longman Publishing.

Arnold, J. et Clarke, D. J. (2014). What is 'agency'? Perspectives in science education research. *International Journal of Science Education*, *36*(5), 735-754.

Bardin, L. (2007). *L'analyse de contenu*. Presses universitaires de France.

Bernié, J.-P. (2002). L'approche des pratiques langagières scolaires à travers la notion de «communauté discursive» : Un apport à la didactique comparée? *Revue française de pédagogie*, *141*, 77-88.

Bisault, J., et Rebiffé, C. (2011). Découverte du monde et interactions langagières à l'école maternelle : construire ensemble un objet d'investigation scientifique. *Carrefours de l'éducation*, *3*, 13–28.

Brière, F., et Simonet, P. (2021). Développement professionnel et co-construction de savoirs de métier d'étudiants stagiaires dans l'activité conjointe avec le formateur-chercheur : Analyses didactique et clinique de l'activité d'auto-confrontation croisée. *Éducation et didactique*, *15-1*, 49-76.

Bronckart, J.-P. (2009). Apprentissage et développement dans la perspective de l'interactionnisme sociodiscursif. *eJRIEPS. Ejournal de la recherche sur l'intervention en éducation physique et sport*, *18*.

Clot, Y., Faïta, D., Fernandez, G., et Scheller, L. (2000). Entretiens en autoconfrontation croisée : Une méthode en clinique de l'activité. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, *2-1*.

Coquidé, M. (2007). Quels contenus de formation pour enseigner à l'école maternelle ? L'exemple de la formation à l'activité « faire découvrir la nature et les objets ». *Recherche et formation*, *55*, 75–92.

Faïta, D. et Vieira, M. (2003). Réflexions méthodologiques sur l'autoconfrontation croisée. *DELTA: Documentação de Estudos em Lingüística Teórica e Aplicada*, *19*(1), 123-154.

Grize, J.-B. (1998). Logique naturelle, activité de schématisation et concept de représentation. *Cahiers de praxématique*, *31*, 115-125.

Grosjean, S. (2011). Actualisation et « mise en scène » de connaissances organisationnelles : Ethnographie des réunions de travail. *Recherches qualitatives*, *30*(1), 33-60.

Hasni, A. et Samson, G. (2008). Développer les compétences en gardant le cap sur les savoirs. Deuxième partie : la diversité des démarches à caractère scientifique et leurs liens avec les savoirs disciplinaires. *Spectre*, *37*(3), 22-25.

Hofstetter, R. et Schneuwly, B. (2009). Introduction. Savoirs en (trans)formation. Au cœur des professions de l'enseignement et de la formation. In R. Hofstetter, *Savoirs en (trans) formation : Au coeur des professions de l'enseignement et de la formation* (p. 7-40). De Boeck Supérieur.

Jaubert, M. et Rebière, M. (2021). Un modèle pour interpréter le travail du langage au sein des « communautés discursives disciplinaires scolaires ». *Pratiques [En ligne]*, *189-190*, 1-18.

Jaubert, M., Rebière, M. et Bernié, J.-P. (2004). Significations et développement : Quelles « communautés ». In C. H. Moro et R. Rickenmann (Éds.), *Situation éducative et significations* (p. 85-104). De Boeck Université.

Leutenegger, F. (2009). *Le temps d'instruire : Approche clinique et expérimentale du didactique ordinaire en mathématique*. Peter Lang.

Ligozat, F. (2015). L'analyse didactique des pratiques de classe : Outils et démarches d'identification des logiques d'action enseignantes en mathématiques. *Formation et pratiques d'enseignement en questions*, *18*, 17-37.

Ligozat, F. et Marlot, C. (2016). Un espace interprétatif partagé entre l'enseignant et le didacticien est-il possible ? Développement de séquences d'enseignement scientifique à Genève et en France. In F. Ligozat, M. Charmillot et A. Muller (Éds.), *Le partage des savoirs dans les processus de recherche en éducation* (p. 143-164). De Boeck Supérieur.

Longhi, J. (2008). Sens communs et dynamiques sémantiques : L'objet discursif intermittent. *Langages*, *2*, 109-124.

Marlot, C. et Roy, P. (2020). La Communauté Discursive de Pratiques : Un dispositif de conception coopérative de ressources didactiques orienté par la recherche. *Formation et pratiques d'enseignement en questions*, *26*, 163-183.

Marlot, C., Toullec-Théry, M. et Daguzon, M. (2017). Processus de co-construction et rôle de l'objet biface en recherche collaborative. *Phronesis*, *6*(1), 21-34.

Mercier, A., Schubauer-Leoni, M. L. et Sensevy, G. (2002). Vers une didactique comparée. *Revue française de pédagogie*, *141*(1), 5-16.

Miéville, D. (2014). La logique naturelle, qu'est-ce, et pour qui, et pourquoi? *TrajEthos*, *3*(1), 45-57.

Morales, G., Sensevy, G. et Forest, D. (2017). About cooperative engineering: Theory and emblematic examples. *Educational Action Research*, *25*(1), 128-139.

Morrissette, J. et Desgagné, S. (2009). Le jeu des positions de savoir en recherche collaborative : Une analyse des points de vue négociés d'un groupe d'enseignantes du primaire. *Recherches qualitatives*, *28*(2), 118-144.

Ohlsson, S. (1996). Learning to do and learning to understand: A lesson and a challenge for cognitive modeling. In P. Reiman et H. Spada (Éds.), *Learning in humans and machine* (p. 37-62). Pergamon Elsevier Science.

Orange, C. (2005). Problématisation et conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques. *Les sciences de l'éducation-pour l'ère nouvelle*, *38*(3), 69-94.

Pastré, P., Mayen, P. et Vergnaud, G. (2006). La didactique professionnelle. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, *154*, 145-198.

Prével, S. (2018). Problématiser la pratique enseignante pour mieux la comprendre : Études de cas en sports collectifs à l'école maternelle. *Les Sciences de l'education-Pour l'Ère nouvelle*, *51*(3), 101-123.

Rolland, A. et Marzin, P. (1996). Étude des critères du concept de vie chez des élèves de sixième. *Didaskalia*, *9*, 57–82.

Star, S. L. (1989). The structure of ill-structured solutions: Boundary objects and heterogeneous distributed problem solving. In L. Gasser et M. Huhns (Éds.), *Distributed artificial intelligence* (p. 37-54). Morgan Kaufmann.

Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and instruction*, *4*(1), 71–87.

Trompette, P. et Vinck, D. (2009). *Retour sur la notion d'objet-frontière. Revue d'anthropologie des connaissances*. *3*(1), 5-27.

Vygotski, L. (1978). *Pensée et langage*. La Dispute (1re éd. 1934).

Wenger, E. (1998). *Communities of practice: Learning, meaning, and identity*. Cambridge University Press.

Windschitl, M. (2003). Inquiry projects in science teacher education: What can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice? *Science education*, *87*(1), 112-143.

ANNEXES

Annexe 1

Tableau n°1 : Exemples de raisonnements selon les six niveaux de cognition d'Anderson et al. (2001)[20]

Six domaines de cognition d'Anderson et al. (2001)	Exemples de raisonnements (tâches épistémiques)
Niveau 1 : Mémoriser Extraire les connaissances significatives issues de sa mémoire à long terme	Associer, citer, décrire, énoncer, énumérer, étiqueter, identifier, indiquer, lister, localiser, nommer, ordonner, rappeler, réciter, reconnaître, répéter, reproduire, sélectionner…
Niveau 2 : Comprendre Construire la signification d'informations reçues (orales, écrites et graphiques).	Classer, comparer, convertir, définir, démontrer, différencier, dire dans ses mots, exemplifier (illustrer à l'aide d'exemples), inférer, expliquer, exprimer, faire une analogie, généraliser, interpréter, paraphraser, prédire, reformuler, représenter, résumer…
Niveau 3 : Appliquer Exécuter ou utiliser une procédure dans une situation donnée.	Administrer, appliquer, assembler, calculer, construire, découvrir, démontrer, dessiner, déterminer, employer, établir, exécuter, formuler, fournir, implanter, manipuler, mesurer, mettre en pratique, modifier, montrer, opérer, participer, préparer, résoudre, traiter, trouver, utiliser…
Niveau 4 : Analyser Décomposer les parties constitutives d'un tout et déterminer les liens qui unissent ces parties entres elles et à une structure ou une finalité d'ensemble.	Analyser, attribuer, catégoriser, cibler, comparer, contraster, critiquer, découper, déduire, délimiter, différencier, discriminer, disséquer, distinguer, examiner, faire corréler, faire ressortir, inférer, limiter, mettre en priorité, mettre en relation, morceler, organiser, opposer, questionner, séparer, subdiviser…
Niveau 5 : Évaluer Porter un jugement sur la base de critères et de normes.	Apprécier, argumenter, attaquer, choisir, conclure, contrôler, critiquer, défendre, déterminer, estimer, évaluer, juger, justifier, soutenir, vérifier
Niveau 6 : Créer Assembler des éléments pour former un tout nouveau et cohérent, ou faire une production originale.	Adapter, agencer, anticiper, arranger, assembler, combiner, commenter, composer, concevoir, construire, créer, développer, écrire, exposer, générer, incorporer, intégrer, mettre en place, organiser, planifier, préparer, produire, proposer, rédiger, structurer, synthétiser…

[20] Adaptation d'un document de l'UNIGE.

Annexe 2- Identification des concepts didactiques et des situations de classe dans le système d'objets bifaces

Éléments de la situation de classe

Concepts didactiques connus
Familiarisation pratique
Référent empirique
Théorie des deux mondes
Démarche d'investigation scientifique (articulation problématisation-conceptualisation)
Passage de la pensée quotidienne à la pensée scientifique

Concepts didactiques émergents
Topogenèse
Milieu didactique

Thème 3 : Posture et rôle de l'enseignant·e et des élèves dans une démarche d'investigation		
Tours de parole	**Discours**	**Tâches épistémiques**
-1- FLO	En regardant, j'ai l'impression que ce sont plus des éléments que les élèves disent / qui sont repris et puis / réorientés ou retravaillés pour pouvoir être réutilisés.	Généraliser, interpréter, sélectionner
-2- CH1	OK.	
-3- FLO	Et puis que finalement ma progression elle est très sinueuse parce que ben tu entends on a tel élément qui est lancé / qui est intéressant, donc on va dans ce sens. Et puis on voit qu'on peut aussi faire différemment. / Et puis, dans mes séances par exemple j'ai / il y a certains points qui sont arrivés vers la fin seulement, / mais qui ont été amenés par le reste. Et puis, ça s'est fait tout seul.	Décrire, comparer interpréter
-4- MAR	Mais tu vois, c'est ça qui est hyper intéressant dans cette démarche. C'est qu'on a beau, et ça j'ai déjà dit à Patrick, on peut planifier tout ce qu'on veut, ça ne marchera pas. On doit / et ça nous donne un boulot de fou parce que chaque fois on doit réajuster, réadapter en fonction de ce qu'on va recevoir et puis, c'est typiquement ce que tu dis. Toi tu es parti comme ça parce que c'est ce qu'on t'a donné aussi.	Argumenter, énoncer, généraliser, évaluer
-5 à 11- FLO	…	
-12- CH1	Et puis, vraiment c'est cette idée qu'on est là. / on produit, / on va produire des scénarios différents. Nous on y tient vraiment qu'il n'y a pas une et une seule manière d'enseigner le (…) du vivant selon la démarche scientifique.	Comparer, définir, expliquer, interpréter

	Et ça va dépendre du degré d'autonomie aussi des élèves, de ce qu'on appelle le partage des responsabilités : qui prend en charge quoi à quel moment, le prof, les élèves. Ça a un nom. Ça s'appelle la topogenèse. Ça s'appelle comme ça. Qui prend en charge quoi. Et je trouve que ça, / ça définit les types de séquences. Et ce n'est ni mieux ni moins bien. / Je veux dire de laisser plus ou moins d'autonomie. Ça dépend des choix.	
-13- FLO	Donc, la topogenèse c'est de savoir si ce sont les élèves qui amènent quelque chose et l'enseignant qui s'adapte ou l'enseignant qui amène quelque chose et les élèves qui s'adaptent ?	Définir, expliquer
-14- CH2	Oui. Et dans ton cas la topogenèse ce sont plus les élèves qui vont proposer. Mais on verra à ce moment-là. Je ne veux pas interpréter à ta place. / Je me retiens. Ce n'est pas mon rôle. On va regarder le moment de classe pour te faire parler à la classe.	Interpréter
-15- MEL	Moi j'avais l'impression par rapport à ce rituel [de la mallette du·de la petit·te chercheur·e] / par rapport à ce qu'on a fait au tout début que ça permet de / quand on a toujours ce problème de quand l'enseignant doit plus guider ou moins et tout ça. Et puis, j'ai l'impression qu'en leur demandant vraiment de prouver, / de chercher, ouais de nous démontrer, ça nous en lève ce poids de… / Parce qu'on peut les accompagner sur le chemin de comment prouver, mais c'est moins l'enseignant qui doit j'ai l'impression ramer sur sa barque. J'ai l'impression que c'est un peu plus facile.	Décrire, définir, exemplifier, interpréter, évaluer
-16- CH1	Oui, sont associés.	Décrire, expliquer
-17- MEL	Et puis, c'est le rituel qui permet justement de toujours, / ouais remettre par-là les chercheurs de prouver, de chercher ensemble et / c'est plus facile (…) que quand on mettait des choses en tas. *Rires*	Exemplifier, comparer, évaluer
-18-19-	…	
-20- CH2	Tu avais plus l'impression que c'était à toi d'amener les éléments qu'à construire la preuve et pour tisser le fil rouge. Mais, effectivement parce que ce que vous faites quand vous rentrez dans le milieu didactique	Conclure, définir, exemplifier, expliquer, interpréter

	en fait. / La valise ou les différents rituels, ça permet de construire un certain fil rouge pour mener l'investigation et pour autant garder votre rôle de médiateur au niveau du savoir. Mais, ça permet de changer justement les postures par rapport aux savoirs, les tâches. Qui prend en charge sa / ça provoque des changements.	
-21- CH1	Ouais, mais c'est intéressant que les rituels, ça produit en fait un partage des responsabilités.	Conclure, généraliser, interpréter, évaluer

De l'intérêt de l'analyse des pratiques langagières en didactique des SVT et de la mise en dialogue de cadres interprétatifs

Morin Olivier [(1)], Marlot Corinne [(2)], Lhoste Yann [(3)]
[(1)] Laboratoire S2HEP, Université Claude Bernard-Lyon 1- France
[(2)] UER MS, HEP Vaud – Suisse ; Acté, U. de Clermont Auvergne – France ; CREAD, U. de Bretagne Occidentale - France
[(3)] Lab-E3D, U. Bordeaux (EA 7441) – France ; CRSE, ULB – Belgique ; U. des Antilles – France

Résumé

Ce texte conclusif souhaite apporter des pistes de réflexions et d'ouvertures vers des travaux à venir. Il sera organisé autour de trois axes et d'une mise en perspective : le développement des modèles d'intelligibilité du travail du professeur et des élèves lors de l'activité argumentative et explicative en classe de sciences, (2) les questions relatives à l'acculturation scientifique qui peuvent être prises en charge quand le chercheur mobilise l'entrée par les manières d'agir-parler-penser, telles qu'elles peuvent être inférées à partir de la notion de communauté discursive disciplinaire scolaire (CDDS), (3) l'élargissement du domaine de pertinence des cadres théoriques et méthodologiques lors de leur articulation avec d'autres cadres mobilisés en didactique des SVT.

Ce symposium, au-delà d'une juxtaposition des contributions, a tenté par une mise en dialogue des résultats des analyses des pratiques langagières produites dans différents cadres théoriques et méthodologiques, de renouveler le regard qui peut être porté sur des questions didactiques fondamentales. Au regard des questions du cadrage du symposium et des éléments développés dans les contributions précédentes, ce texte conclusif souhaite apporter des pistes de réflexion

et d'ouverture vers des travaux à venir. Il sera organisé autour de trois axes et d'une mise en perspective :

- Le développement des modèles d'intelligibilité du travail du professeur[21] et des élèves lors de l'activité argumentative et explicative en classe de sciences ;
- Les questions relatives à l'acculturation scientifique qui peuvent être prises en charge quand le chercheur mobilise l'entrée par les manières d'agir-parler-penser, telles qu'elles peuvent être inférées à partir de la notion de communauté discursive disciplinaire scolaire (CDDS) ;
- L'élargissement du domaine de pertinence des cadres théoriques et méthodologiques lors de leur articulation avec d'autres cadres mobilisés en didactique des SVT.

Développement des modèles d'intelligibilité de l'activité didactique en classe de science

Le travail de notre collectif vise à produire – par la confrontation entre différents cadres régulièrement mobilisés en didactique des SVT – un enrichissement mutuel des modèles d'intelligibilité du travail du professeur et des élèves spécifiquement lors de l'activité explicative et argumentative en classe de SVT, dans des degrés différents et en formation. Cette focalisation sur les pratiques langagières ne signifie pas que nous limitons l'enseignement des SVT à un travail langagier ; d'autres pratiques spécifiques aux SVT étant tout aussi importantes (observation, expérimentation, modélisation), mais nous signifions par-là, l'importance des pratiques langagières dans les processus d'apprentissage et d'acculturation aux SVT.

Ainsi, les communications et échanges ont interrogé les pratiques langagières en tant que processus de sémiose, c'est-à-dire ce que ces pratiques langagières nous permettent de comprendre concernant la construction de signification partagées et ce, avec une mise abîme que nous pouvons formuler ainsi : du questionnement de savoirs scientifiques par des élèves en classe, au questionnement des analyses de ces situations par les chercheurs dans le

[21] Par souci de lisibilité, ce texte utilisera le masculin générique.

symposium. En effet, comme le précise Vygotski : « il faut trouver une construction déterminée des significations pour exprimer une pensée » (1933/2002, p. 314).

Par rapport à la fonction que nous donnons à la construction de ces significations partagées, une question a été travaillée de façon récurrente dans les textes de cette section : celle de l'intelligibilité des situations didactiques qui sont centrées sur l'activité explicative et argumentative en classe de SVT : dans quelle(s) mesure(s) l'activité langagière (forme discursive du savoir) renseigne-t-elle sur l'activité cognitive (forme opératoire du savoir) ? Ou encore dans quelle(s) mesure(s) la secondarisation[22,23] des discours révèle-t-elle une abstraction ? En effet, comme le précise Bota, la succession entre écrits de travail et oraux de travail en appui sur ces écrits représente des « occasions d'intensification des rapports entre pensée et langage, et en cela comme des occasions d'apprentissage » (2015, p. 24). Plus spécifiquement encore dans différents travaux, la question des relations entre secondarisation des discours des élèves et construction de savoirs scientifiques fondés en raison s'est posée. En particulier, les textes narratifs étudiés par Paulin, Bruguière et Zabel correspondent vraiment à des écrits secondarisés sans nécessairement proposer une explication en termes de sélection naturelle. Dans leur contribution, ils croisent une approche micro et macro-textuelle (Jacobi, 1999) à des critères issus d'une analyse épistémologique du concept d'évolution biologique. Leurs résultats montrent que le mode narratif et le mode scientifique se sont influencés de manière intéressante mais différente selon les paramètres visés par l'étude. Ainsi, le cadre narratif permet de « moduler » une explication scientifique en fonction de trois paramètres : la temporalité, l'intentionnalité et la créativité, ce qui entraîne une diversification des modes d'accès aux explications scientifiques par les élèves. Les auteurs mettent au jour les articulations possibles entre mode de pensée narratif et mode de pensée scientifique notamment dans le travail de secondarisation des discours.

De leur côté, Patricia Marzin et Patricia Schneeberger ont réalisé une étude secondaire sur un corpus déjà travaillé relativement à des concepts d'immunologie à partir des outils de la

[22] Terme utilisé à de nombreuses reprises, peut être avec des entendements différents.

[23] Dans leur approche des caricatures, Christian Orange et Denise Orange-Ravachol ont présenté cette secondarisation comme le passage d'argumentations compréhensibles seulement en contexte à des écrits qui peuvent être compris hors du contexte.

linguistique pragmatique et énonciative. Elles montrent ainsi que les processus d'apprentissage sont associés à des transformations à la fois sur le plan cognitif et conceptuel (dimension épistémologique) et sur le plan du positionnement énonciatif des élèves (dimension langagière). Ces doubles transformations permises par le dispositif d'enseignement et d'apprentissage donnent à voir une secondarisation des discours des élèves qui dans ce cas peut être associée à la construction des savoirs visés.

Dans la même perspective, mais à partir de l'étude des pratiques argumentatives des élèves en lien avec une activité de problématisation, Christian Orange et Denise Orange Ravachol proposent un autre moyen de documenter ces processus de secondarisation. Ils mettent à jour des conditions de possibilité didactique de la construction de savoirs à travers ce qu'ils appellent le processus de mise en texte de savoirs problématisés : celle d'un étayage fort, par une succession de situations conduisant à un travail d'abstraction de la classe à partir des productions antérieures, et celle d'une ouverture de chacune de ces situations qui permettent aux élèves de s'impliquer et de prendre en charge ce que les auteurs qualifient de dénivellations épistémiques et langagières correspondantes. Cela conduit à une conception des situations d'enseignement et d'apprentissage composant la séquence d'enseignement comme une suite de situations reliées entre elles car une situation mobilise des productions langagières de situations précédentes, choisies et éventuellement reconfigurées par l'enseignant. C'est aussi dans le but de décrire les processus de secondarisation des discours, mais cette fois-ci non plus des élèves mais des enseignants que Corinne Marlot et Patrick Roy ont conduit une analyse qui croise un cadre d'analyse didactique (tâches épistémiques) avec une analyse langagière. Leurs résultats montrent l'apparition d'un langage hybride au travers des reformulations successives couplées avec des déplacements énonciatifs. Ces phénomènes langagiers signalent les traces d'une secondarisation du discours chez ces enseignants participant à une recherche coopérative.

Une autre direction est également ouverte par les différentes contributions à cette section. C'est celle de l'articulation entre différents niveaux d'analyse comme le passage du niveau micro au niveau méso dans l'analyse des situations et entre différentes approches théoriques. Yann Lhoste et Corinne Marlot à partir d'une mise en discussion entre deux cadres, celui de la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD) (Sensevy, 2011) et du modèle de structuration des contextes et dans une perspective de didactique comparée ont réalisé des analyses multiscalaires et ont ainsi réussi à caractériser des phénomènes de conjonction /disjonction entre savoirs et pratiques de savoir lors de la construction de modèles explicatifs en situation de débat scientifique en classe de CM2 (élèves de 9-10 ans). Le repérage de ces phénomènes de

conjonction/disjonction à partir de l'identification des objets de discours permet de saisir dans l'action certaines stratégies de l'enseignant (plus ou moins assumées) qui peuvent donner lieu à des effets de contrat (Topaze / Jourdain). Dans cette direction, la notion d'équilibration didactique contrat/milieu et de structuration des contextes peuvent contribuer à comprendre et expliquer l'émergence de ces différentes stratégies et de leurs liens avec les processus de sémiose. Ces analyses peuvent être rapprochées de celles de la dynamique des interactions langagières, et permettre alors de mieux caractériser (pour les enseignants et les chercheurs), les pratiques langagières d'une situation précédente susceptibles d'être reprises dans une nouvelle situation. Il est alors possible de comprendre ce qui favorise les « dénivellations » épistémiques mais aussi les processus de secondarisation des discours (voir également ce qui a été dit ci-dessus à propos de la contribution de Christian Orange et Denise Orange Ravachol).

Dans tous les cas, les communications ont tenté de relier ces analyses de pratiques langagières à l'exactitude épistémique des interprétations produites par les élèves, dont la seule analyse structurale ne peut pas rendre compte. C'est alors de l'outillage possible des enseignants, des chercheurs (et des élèves ?) en termes d'indicateurs de problématisation dont il a été question. Par exemple, lors du symposium, même s'ils n'ont pas contribué à cet ouvrage, Hanàa Chalak et Jérôme Santini ont montré, avec l'analyse des modèles explicatifs de la formation des magmas dans les zones de subduction mis en débat par les élèves de classe terminale, en quoi l'examen avec la TACD de la dualité contrat/milieu (ce qui est connu et ce qui est à découvrir) et de la dualité expression/réticence (ce qui est dit et ce qui est tu) vient compléter l'analyse avec le cadre de l'apprentissage par problématisation en termes de contraintes et nécessités. Le rapprochement de ces deux analyses donne ainsi à voir comment la mobilisation d'un cadre théorique révèle l'importance d'interventions dont l'autre cadre ne rend pas toujours compte, et réciproquement. C'est en cela que nous pouvons dire que le travail comparatiste permet d'augmenter les modèles d'intelligibilité des situations didactiques étudiées.

Pratiques langagières spécifiques et acculturation scientifique par le développement des manières d'agir-parler-penser

Quatre des cinq études embarquent, de manière plus ou moins explicite, l'idée d'une institution de la classe comme communauté discursive scientifique scolaire (Jaubert, Rebière et Bernié, 2004 ; Jaubert et Rebière, 2005, 2012) qui va jouer le rôle de levier d'acculturation scientifique grâce à la mise en œuvre de pratiques langagières spécifiques. Quelles questions ces choix et ces emprunts prennent-ils en charge ?

Sans trop reprendre les résultats présentés dans les contributions précédentes à ce symposium, les travaux exposés reposent sur l'idée de la mise en place d'un contrat didactique qui vise des formes d'acculturation scientifique par l'intermédiaire de la construction de mode d'agir-parler-penser spécifique de l'activité scientifique. Ainsi, dans le texte de Patricia Marzin et de Patricia Schneeberger il s'agit de comprendre, à partir d'exemples, comment les formes d'étayage associées à ce type de dispositif d'apprentissage (étayée par un EIAH)[24] participent à l'acquisition par les élèves des façons d'agir-parler-penser spécifiques aux sciences, favorisant ainsi leur acculturation scientifique. Dans l'article de Yann Lhoste et Corinne Marlot, les résultats produits montrent qu'il peut y avoir soit conjonction entre les modes d'agir-parler-penser et la construction des savoirs, mais aussi des moments de divergence de différente nature, moments qui ne sont pas aussi productifs les uns que les autres au regard de l'acculturation scientifique.

Enfin les résultats de Corinne Marlot et de Patrick Roy montrent que la dimension discursive de la communauté de pratique permet la construction de points de vue partagés et argumentés – selon un processus de sémiose – entre les acteurs lorsqu'ils co-analysent des situations d'enseignement-apprentissage en SVT au moyen d'objets biface. Ces derniers agissent comme outils langagiers de pilotage. En effet, un objet biface articule une face conceptuelle à une face exemplaire d'une situation de classe et qui concrétise justement ce concept didactique. Cet objet est dit biface car il permet à la fois de rendre compte, dans une situation précise, des préoccupations des enseignants et des chercheurs, sans que chacun puisse avoir l'ascendant sur la préoccupation de l'autre. L'objet biface organise la co-activité des deux partenaires, il concrétise l'engagement réciproque en permettant à chacun d'attribuer un sens à son action (Vinatier et Pastré, 2007). La situation de travail coopérative peut alors donner naissance à un processus de coopération, au sens où l'objectif commun ne peut être atteint sans la participation volontaire et conjointe des deux partenaires institutionnels. Dans le fil des interactions, l'objet biface pourra être vu par le chercheur comme un outil pour penser la construction de connaissances scientifiques (en didactique) à partir de l'émergence de préoccupations des enseignants et de l'étude de gestes d'enseignement (visée épistémique, descriptive et

[24] Environnement informatique pour l'apprentissage humain

compréhensive) et vu par les enseignants comme un outil pour saisir et organiser ensemble certains usages, certaines conduites afin de rendre l'action plus efficace (visée plus pragmatique). Ainsi au fur et à mesure que se construit la communauté de pratiques professionnelles, des manières d'agir-parler-penser caractéristiques de l'enseignement-apprentissage scientifique se mettent en place au travers de la mobilisation des objets langagiers que sont les objets bifaces.

Élargissement du domaine de pertinence des cadres théoriques et méthodologiques lors de leur articulation avec d'autres cadres mobilisés en didactique des SVT

Le choix dans ce symposium de faire dialoguer des cadres théoriques différents s'est traduit dans les contributions au symposium par une prise en charge à des degrés divers de deux tensions : entre objectivité et subjectivité d'une part (par exemple avec les analyses de l'approche par le récit), entre savoirs situés en contexte et savoirs à portée plus universelle d'autre part (par exemple avec les analyses qui embarquent les « objets bifaces » : savoir-situation).

Les éclairages mis en discussion dans le symposium ont ainsi visé à identifier des outils et méthodes rendant compte de ce qui « se joue » dans ces pratiques de langage, des zones d'ombre induites par les choix d'éclairages spécifiques, de la complémentarité éventuelle des outils et méthodes spécifiques, mais aussi des limites de la compatibilité méthodologique d'approches mobilisant des orientations théoriques distinctes (par exemple l'identification d'absence de connecteurs logiques dans certains récits analysés par Fabienne Paulin, Catherine Bruguière et Jörg Zabel n'empêche pas que ces récits soient finalement assez secondarisés.)

Une deuxième question soulevée par le rapprochement des communications est celle du choix des objets langagiers que les contributeurs ont considéré susceptibles de favoriser la co-construction d'espaces interprétatifs particuliers. Les corpus présentés ont en effet été construits par la collecte d'éléments de natures très différentes sur le plan langagier : des récits, des textes explicatifs (produits individuellement ou collectivement par des groupes d'élèves), des textes argumentatifs sous forme de monologues, des transcriptions de débats scientifiques en classe (les arguments portant sur les modèles explicatifs dont les élèves ont rendu compte par des textes ou des schémas). Cette question de la sélection des éléments de pratique langagière a bien sûr des implications sur la diversité et la cohérence des méthodes d'analyses des corpus constitués (par exemple à propos des limites de l'analyse de la structure des argumentations

avec le modèle de Toulmin (2003) dans le cadre de dialogues, ou avec l'analyse des positions énonciatives dans des textes écrits à plusieurs). Mais en mettant en lumière les cas de complémentarité de recherches renvoyant à des cadres différents d'analyses de pratiques langagières sur un même corpus, les discussions ont aussi aidé à identifier l'importance des cadres de référence dans la construction même des situations analysées. Cela conduit alors plus précisément à envisager des analyses de pratiques langagières distinctes en situations forcées et en situation ordinaires.

Mise en perspective

Les cinq contributions de ce symposium ainsi que la communication d'Hanàa Chalak et Jérôme Santini ont donné lieu à un travail collaboratif qui s'est inscrit dans le temps (entre la première journée d'étude de janvier 2022, les présentations dans le cadre du symposium de l'ARDiST en novembre 2022 et la préparation de la contribution au présent ouvrage). Notre idée est que ce collectif, qui va s'enrichir de nouveaux collègues intéressés par cette aventure, va continuer à travailler ensemble pour poursuivre la réflexion sur plusieurs points. Le premier déjà évoqué ci-dessus relève des liens qui ne vont pas nécessairement de soi entre acculturation scientifique, construction de savoirs scientifiques et secondarisation des discours des élèves. Une deuxième piste pourrait être celle de la manière dont les différents cadres théoriques qui structurent les recherches prennent en charge les différents grains d'analyse entre le niveau macroscopique (la séquence), le niveau mésoscopique (la séance) et le niveau microscopique (les tours de parole) et comment la prise en charge complémentaire et articulée de ces différents niveaux peut permettre de mieux comprendre les phénomènes didactiques liés aux processus d'acculturation scientifique. Enfin, une troisième piste qui pourrait être investiguée concerne le tissage que l'on pourrait étudier entre d'autres pratiques spécifiques à l'activité scientifique (observation, expérimentation, modélisation) et la construction des modes d'agir-parler-penser d'une communauté discursive scientifique scolaire autour du schème de l'enquête.

L'enjeu comparatiste ne devra pas être oublié puisqu'il permet à la fois d'approfondir les spécificités de chaque cadre théorique et révèle la plus-value à les faire fonctionner de façon conjointe. Un dernier point que nous souhaiterions travailler, déjà présent à travers la contribution de Corinne Marlot et de Patrick Roy, concerne les implications de ces différents résultats de recherche sur la formation des enseignants de sciences ou de SVT. Ainsi, les analyses des pratiques langagières se référant à la description/interprétation des situations de classe dans le cadre des débats experts conduits sous le format d'entretien d'auto-confrontation

croisée prennent appui – à certaines conditions – sur un ensemble de concepts didactiques interreliés au sein d'un réseau cohésif. Ces interprétations des phénomènes d'enseignement-apprentissage élaborées dans l'interaction entre enseignants et formateurs-chercheurs viennent renouveler les pratiques relatives à l'entrée dans la culture scientifique de jeunes élèves. En conclusion, ce travail qui nous a permis de nous rapprocher et de faire communauté autour d'un objet d'étude partagé, celui de l'étude des pratiques langagières des enseignants et des élèves, s'est avéré être un véritable point de convergence entre des travaux menés dans des cadres théoriques variés.

Références bibliographiques

Bernié J.-P., Jaubert, M et Rebière, M. (2005). Bases et perspectives d'une évaluation formative des pratiques langagières au service de la construction des connaissances dans les disciplines scolaires. *Repères*, 31, 189-210.

Bota, C. (2015). *Pensée verbale et raisonnement. Les fondements langagiers des configurations épistémiques*. Peter Lang.

Jacobi D. (1999). *La communication scientifique : discours, figures, modèles*. Presses Universitaires de Grenoble.

Jaubert, M., Rebière, M., et Bernié, J.-P. (2004). Significations et développement : quelles « communautés ». Dans C. Moro et R. Rickenmann (Éds.), *Situation éducative et significations*, 85-104. De Boeck.

Jaubert, M. et Rebière, M. (2012). Communautés discursives disciplinaires scolaires : l'hypothèse énonciative. *Forumlecture.ch*, (3). Jaubert, M. et Rebière, M., avec la collaboration de Bernié J.-P. (2012). Communautés discursives disciplinaires scolaires et constructions de savoirs : l'hypothèse énonciative. *Forumlecture.ch* (3). https://www.forumlecture.ch/sysModules/obxLeseforum/Artikel/476/2012_3_Jaubert_Rebiere_Bernier.pdf

Sensevy, G. (2011). *Le sens du savoir. Éléments pour une théorie de l'action conjointe*. Presses universitaires de Rennes.

Toulmin, S. E. (2003). *The Uses of Argument*. Cambridge University Press.

Vinatier, I. et Pastré, P. (2007). Organisateurs de la pratique et/ou de l'activité enseignante. *Recherche et formation,* 56, 95-108.

Vygotski, L.S. (1933/2002). Le problème de la conscience. Note sur les thèses principales de L.S. Vygotski (1933) prise par A.N. Leontiev. Dans Y. Clot (éd.). *Avec Vygotski* (Traduction du russe par F. Sève), 305-322. La Dispute.

Partie 3 – Symposium « Éducation au changement climatique : quelles approches didactiques ? »

Éducation au changement climatique : quelles approches didactiques ?

Marzin-Janvier Patricia [(1)], Perron Séverine [(2)]
[(1)] Univ Brest, Univ Rennes, CREAD, F-29200 Brest.
[(2)] LIESS, IUFE-Université de Genève – Suisse

Résumé

Cette partie de l'ouvrage regroupe les travaux de recherche présentés lors du symposium sur l'éducation au changement climatique. A l'origine, ce symposium avait pour l'objectif de structurer un nouveau champ de recherche émergeant sur l'éducation au changement climatique, au sein de la communauté des didacticiens et didacticiennes des sciences et des technologies. En effet, la pandémie de Covid-19 a mis à jour les conséquences sanitaires et sociétales concrètes du changement climatique. Elle a également montré l'importance du rôle de l'éducation scientifique pour comprendre les enjeux sanitaires et sociétaux liés au changement climatique, pour décoder les discours des experts (scientifiques et pseudos) et donner du sens aux évènements. Ce contexte fait émerger de nouvelles problématiques de recherche en didactique des sciences. Cette partie d'ouvrage présente des travaux qui portent sur la formation et l'accompagnement des enseignants impliqués dans des projets de sciences participatives, l'école en dehors, les conceptions des élèves sur l'incertitude climatique, et la formation de professionnels de l'agriculture.

Introduction

Ce symposium se tient alors que quatre années se sont écoulées depuis la dernière rencontre de l'ARDIST en présence, du fait de la pandémie de Covid-19. De nombreux travaux (eg. Ogden et al., 2017) ont démontré que cette pandémie est la conséquence directe du dérèglement climatique qui modifie profondément la biodiversité et qui a eu pour effet dans ce cas précis de rendre possible la transmission de ce virus à l'homme. L'émergence du Covid-19 a mis en évidence que l'Homme, par ses activités, en modifiant la biodiversité, détruit de fait le système qui soutient la vie. Cette atteinte à la biodiversité, aux interactions biotiques et aux milieux de vie, augmente la propagation de pathogènes. En effet, certaines activités humaines comme la déforestation, l'empiètement sur les habitats de la faune sauvage, l'intensification de l'agriculture et l'accélération des changements climatiques, ont modifié les écosystèmes et ont créé des conditions qui permettent à des agents pathogènes particuliers, notamment les coronavirus, de se propager. Cela est possible car les interactions locales homme-animal-écosystème sont de plus en plus étroites dans certains endroits de la planète, ce qui a pour conséquence l'émergence de nouvelles infections au sein des populations humaines.

Grandcolas et Justine, (2020, p. 3), précisent que

> Nous détruisons les milieux naturels à un rythme accéléré : 100 millions d'hectares de forêt tropicale coupés entre 1980 et 2000 ; plus de 85 % des zones humides supprimées depuis le début de l'époque industrielle. Ce faisant, nous mettons en contact des populations humaines, souvent en état de santé précaire, avec de nouveaux agents pathogènes. Les réservoirs de ces pathogènes sont des animaux sauvages habituellement cantonnés aux milieux dans lesquels l'espèce humaine est quasiment absente ou en petites populations isolées. Du fait de la destruction des forêts, les villageois installés en lisière de déboisement chassent et envoient de la viande contaminée vers des grandes villes.

Par ailleurs la population humaine mondiale a atteint le chiffre de huit milliards en novembre 2022, ce qui augmente encore la pression sur les écosystèmes.

Dans ce contexte anxiogène, il y a un accord des scientifiques sur l'urgence à préserver la biodiversité, à réduire les émissions de gaz à effet de serre, mais aussi à adopter des pratiques sanitaires adaptées, ce qui ne peut se faire sans une acceptation de la population, voire une action des citoyens pour modifier les décisions les politiques.

Cette prise de conscience de l'urgence de la situation et la compréhension des phénomènes en jeu est également nécessaire pour discerner les discours pseudoscientifiques (complotistes, climatosceptiques et les fausses informations), des informations scientifiques. La nécessité d'une solide formation scientifique pour l'ensemble des populations est le seul levier possible. En effet, pour citer Paolo Freire « L'éducation ne transforme pas la société mais elle change les êtres humains qui changeront eux la société » (cité par Devleeshouwer et Ravachol, 2022, p. 4).

Un autre élément du contexte est un ressenti d'éco-anxiété par une part importante de la population, et en particulier par les jeunes, qui doit également être entendu et pris en compte.

La question qui se pose alors est comment la recherche en didactique évolue-t-elle aussi pour accompagner cette révolution sociétale, pour que chacun, chacune, puisse donner du sens aux évènements liés au changement climatique et puisse acquérir un pouvoir d'agir ?

Contexte de la recherche

C'est dans ce cadre, qu'a été proposé ce symposium lors des 12èmes rencontres scientifiques de l'ARDIST, afin de mettre en visibilité les travaux en didactique des sciences portant sur l'éducation en contexte d'urgence climatique. Un autre élément du contexte de la recherche est le grand nombre de publications récentes ou appels à publications et communications, en sciences de l'éducation, qui traduisent un véritable engouement et un besoin de travaux et de connaissances en lien avec la situation de transition dans laquelle nous sommes. Nous pouvons citer le numéro 70 de la revue Spirale « Quelles pédagogies critiques pour penser l'Anthropocène ? » ; le volume 17 de la revue REE : « Éduquer à l'urgence climatique » ; le numéro 30 de la revue RDST en appel : « Éducation au changement climatique » ; le hors-série du dossier de veille de l'IFE qui porte sur « Apprendre en anthropocène. Éduquer à la biodiversité » ainsi que plusieurs colloques et conférences portant sur ce thème et un appel à proposition de recherche de l'Agence Française de Développement (ARD) sur le thème de « l'éducation et les transitions écologiques, avec une attention particulière aux pays en développement et émergents de l'ARD : sur les effets de l'éducation sur l'atténuation des changements climatiques, sur l'adaptation aux changements climatiques, ou sur la protection et la conservation de la biodiversité. » Ces différentes publications témoignent d'une focalisation des chercheurs sur ces questions et d'un besoin de travaux et de connaissances pour éclairer les acteurs de l'éducation, au sens large.

Des enjeux sociaux, économiques et politiques et des débats

La situation met en visibilité des enjeux sociétaux. La notion de transition questionne les modèles de société, et suggère des changements de paradigme et de temporalité. Certains proposent d'admettre que la situation est désormais irréversible et qu'il faut s'adapter à des changements radicaux : de climat, de modes de vie, de comportements, de modèle économique. Un changement de vision sur la place de l'Homme et de sa position par rapport à la nature s'impose également, si l'on considère que nous sommes un des maillons du système terre. Ces changements de postures ont des conséquences sur la manière de penser l'éducation au changement climatique. D'un point de vue éducatif, le problème n'est donc plus de s'inscrire dans une logique de développement durable, qui pour le philosophe Bourg (cité par Devleeshouwer et Ravachol, 2022) est une « notion "cache-sexe", en ce sens qu'elle est venue occulter les réflexions critiques antérieures sur l'idée de croissance », mais, toujours pour cet auteur, il est nécessaire de se projeter dans une logique où la durabilité qui est au cœur d'une transition écologique intégrant l'idée que nous sommes désormais devant « une cascade de finitudes » (*ibid*, p. 3).

Un premier débat existe donc quant aux termes utilisés et à ce qu'ils évoquent : Éducation relative à l'environnement (année 1960) ; éducation au développement durable (années 1990) ; éducations au temps de l'anthropocène (années 2010) (Barthes et al., 2022), éducation à la durabilité, … Un autre débat plus politique porte sur la façon de nommer l'époque : doit-on parler d'anthropocène ou de capitalocène qui permet de replacer le débat et de lier les enjeux écologiques et économiques avec l'idée que seulement une partie de l'humanité met en danger la planète et l'ensemble du vivant. D'autres travaux montrent la nécessité d'une éco-pédagogie dont l'objectif est de développer chez les élèves une conscience mondiale en abordant les problèmes écologiques à un niveau systémique, privilégiant la capacité à questionner, intégrant les questions sociales, économiques et écologiques, pour donner un pouvoir d'agir (Pereira, 2019).

Les problématiques portées par les recherches en didactiques peuvent alors concerner :

- Les curriculums à produire en s'appuyant sur une vision systémique ;
- L'intégration des dimensions sociales et économiques à la dimension écologique ;
- La place et la circulation des savoirs scientifiques dans des dispositifs scolaires et extrascolaires ;

- Les conséquences sur les pratiques enseignantes et sur la formation des enseignants ;
- L'accompagnement des communautés de pratiques qui intègrent des publics divers au sein de projets ;
- Les cadres théoriques utilisés et/ou construire ;
- La place et la circulation des savoirs.

Présentation des chapitres associés au symposium

Cette partie est composée de six textes qui traitent de ces problématiques. La question des curriculums est partiellement abordée par *Nicolas Hervé et Julitte Huez* et par *Valentin Maron* et ses collègues, quand ils conçoivent et analysent des dispositifs d'enseignement. La dimension sociale est très présente dans l'ensemble des textes mais sous des angles différents. Soit en lien avec des questions socio-scientifiques, soit comme une finalité pour comprendre des enjeux sociétaux et climatiques qui sont traités de façon conjointes, soit comme un objet d'enseignement. La question du changement climatique est étudiée dans des structures hors l'école ou en lien avec des partenaires de l'école au sein de communautés de pratiques qui associent des enseignants et des élèves. C'est le cas des travaux présentés par *Marine Jacq* et al au sein des *Forest Schools* ou ceux de *Séverine Perron* et ses collègues et de *Sébastien Turpin* et *Corinne Fortin* quand ils étudient les conditions de la mise en œuvre de projets de sciences participatives scolaires et leur impact sur le développement professionnel des enseignants ou sur l'apprentissage des élèves. Enfin la place des savoirs en lien avec l'éducation au changement climatique est étudiée selon plusieurs axes. Par l'étude des conceptions des élèves sur le changement climatique, sur le rôle et la catégorisation des savoirs dans des activités menées par des élèves à l'extérieur ou sur la mobilisation des savoirs par des élèves ou des étudiants pour comprendre l'origine et les conséquences du changement climatique.

L'étude effectuée par *Séverine Perron, Patricia Marzin-Janvier, Bastien Castagneyrol et Jérôme Sawtschuk* rend compte des potentialités d'un projet de sciences participatives, le projet EDUOakBodyguards, pour l'éducation à la durabilité. La recherche a permis de mettre en évidence une variété de contenus présents dans les séquences d'enseignement analysées et catégorisés selon trois dimensions : disciplinaire, épistémologique et sociale (Perron et al., 2020). Les résultats montrent que chaque enseignant impliqué a l'intention de faire

travailler les élèves sur des contenus variés et articulés relevant des trois dimensions. Les séquences mettent en évidence le fort potentiel des projets de sciences participatives pour donner accès à la complexité. Ce travail met en évidence la nécessaire transposition didactique des contenus inhérents aux projets de sciences participatives et de la difficulté à les maitriser par les enseignants. Cette étude met également en évidence la nécessité d'une interconnaissance réciproque des acteurs impliqués dans les communautés de pratique.

Corine Fortin et Sébastien Turpin se sont eux aussi intéressés aux sciences participatives à destination d'un public scolaire. Ils ont étudié en quoi le dispositif Vigie-Nature École (VNE) proposé par le Muséum National d'Histoire Naturelle, peut aider les élèves à construire des raisonnements socio-scientifiques (Simonneaux et Simonneaux, 2009), en vue d'une prise de décision raisonnée. Pour cela ils ont comparé deux classes de seconde impliquée et non impliquée dans le projet Oiseaux des jardins du projet VNE. Ce projet vise à évaluer les différentes espèces (diversité) et le nombre d'oiseaux par espèce (abondance) fréquentant un espace bien délimité. Leurs résultats montrent que la plupart des élèves qui ont participé au projet réinvestissent les connaissances acquises, en particulier, la nécessité de faire un inventaire des espèces pour évaluer la biodiversité locale avant de prendre une décision. Ils montrent également que les élèves se questionnent davantage et adoptent une démarche d'enquête, ils perçoivent les enjeux et abordent la complexité des choix. Comme pour l'étude présentée précédemment, les auteurs insistent sur la nécessité de ne pas limiter le rôle des élèves et de leurs enseignants à la seule collecte des données et sur l'importance de la mise en œuvre d'une démarche collaborative entre chercheurs et publics scolaires.

Nicolas Hervé et Julitte Huez se sont penchés sur un autre contexte, celui de l'intégration de l'éducation au changement climatique dans l'enseignement supérieur et de la formation des élèves ingénieurs. Ils ont étudié la construction de la pensée perspective, définie comme la capacité à analyser, construire et débattre du futur (Hervé, 2022). La thématique utilisée est celle de la gestion des déchets. Il est proposé aux élèves ingénieures et ingénieurs de penser des procédés de transformation de la matière produisant des déchets. Il s'agit alors pour les élèves de pouvoir problématiser l'intégration de ces procédés dans des réseaux sociotechniques qui évoluent en fonction du changement climatique et des politiques d'adaptation et d'atténuation mises en place. Un module de formation de quatre séances d'1h20 a été conçu et testé auprès de 50 étudiants et étudiantes de niveau L3, divisés en 9 groupes, selon un dispositif de design-fiction. Les résultats mettent en évidence les

difficultés pour les élèves de se projeter dans le futur. Elle pointe également qu'un rapport de type low-tech à la technologie résiste à l'appréhension des élèves-ingénieures et ingénieurs, qui conçoivent le progrès et la technologie du futur avant tout sous une forme high-tech. L'étude montre également l'intérêt de l'utilisation du design-fiction pour la formation des élèves-ingénieurs, pour les aider concevoir des choix technologiques dans un monde en changement.

Hannaà Chalak et Malou Delplancke se sont, elles, intéressées aux conceptions des élèves de terminale sur le changement climatique. Elles ont étudié par questionnaire la place qu'ils laissent aux incertitudes et aux controverses, leurs représentations des actions à réaliser, ainsi que l'articulation entre leurs connaissances et les actions qu'ils proposent. Elles ont travaillé avec trois classes de terminale, soit 93 élèves, dans un lycée nantais. Les résultats montrent que les élèves ressentent de l'éco-anxiété qui s'exprime par le côté irréversible des pertes de la biodiversité, par un sentiment de peur de la mort, associant présent et futur. Elles mettent en évidence la présence de récits avec lequel les élèves articulent l'imaginaire et les données scientifiques. En réponses aux questions portant sur les solutions possibles, les élèves proposent prioritairement des éco-gestes individuels. Une minorité d'élèves propose des réponses collectives comme repenser la société et les modes de consommation ou l'engagement citoyen dans un combat politique. Très peu d'élèves évoquent les résultats scientifiques. Les autrices proposent de redonner une place aux incertitudes, qui apparaissent très peu présentes dans les réponses des élèves, afin de construire une pensée critique chez les élèves.

L'étude de *Valentin Maron et al*., intitulée « Cheminement conceptuel empiriquement fondé pour comprendre le rôle du CO_2 dans le réchauffement climatique » présente un dispositif d'enseignement adaptée aux nouveaux programmes du lycée. Cette proposition vise à construire le lien entre émissions de CO_2 dans l'atmosphère et température moyenne, adaptée à des élèves de lycée. L'article explicite les choix effectués en lien avec les cadres du Model of Educational Reconstruction de Kattman et al. et sur une analyse a priori des difficultés en jeu, qui s'appuie sur une analyse fine des concepts de physique mobilisés, sur la littérature en didactique de la physique et sur les résultats d'une pré-enquête réalisée auprès d'étudiants et d'étudiantes. Le choix innovant porte sur l'interprétation d'expériences réalisées avec une caméra infrarouge et sur une activité de modélisation pour étudier le bilan radiatif de la Terre. Cette proposition n'a pour le moment pas été testée en classe.

Cette partie de l'ouvrage se termine par une synthèse proposée par *Denise Orange Ravachol et Valérie Marchal-Gaillard*, structurée à partir de trois axes qui dégagent des problématiques et des perspectives pour la recherche en didactique des sciences et des technologies. Le premier axe qu'elles dégagent des six contributions au symposium est celui des problèmes, des savoirs et des pratiques de savoir. Le second axe concerne les contributions et leurs caractéristiques dès lors qu'elles portent sur les nouveaux dispositifs (sciences participatives éducatives, écoles du dehors), en lien avec l'École. Le troisième axe est relatif à la manière dont les contributions approchent et interrogent la formation des enseignants et des ingénieurs. Les problématiques présentées au début du texte recouvrent les trois axes présentés dans la synthèse en particulier celles concernant les savoirs, les dispositifs et la formation des professionnels.

Les contributions et les discussions qui se sont tenues lors des rencontres de l'ARDIST ont permis d'atteindre les objectifs fixés par les deux organisatrices du symposium, c'est-à-dire de mettre en visibilité de nombreux travaux en didactique des sciences portant sur des dispositifs d'éducation au développement durable dans un contexte d'urgence climatique et de structurer des problématiques. Ce chapitre est une première étape réussie de cette mise en visibilité. Le travail initié lors du symposium se poursuivra au sein d'un groupe de recherche thématique soutenu par l'ARDIST, par exemple sous la forme d'une revue de littérature.

Bibliographie

Barthes, A., Sauvé, L., et Torterat, F. (2022). Quelle éducation au politique pour les questions environnementales et de développement ? Éducation et socialisation. *Les Cahiers du CERFEE*, 63. https://doi.org/10.4000/edso.18788

Devleeshouwer, P., et Ravachol, D. O. (2022). Présentation. *Spirale - Revue de recherches en éducation*, *70*(2), 3-12. https://doi.org/10.3917/spir.070.0003

Grandcolas, P., et Justine, J.-L. (2020). *Covid-19 ou la pandémie d'une biodiversité maltraitée*. The Conversation. https://theconversation.com/covid-19-ou-la-pandemie-dune-biodiversite-maltraitee-134712

Hervé, N. (2022). L'éducation au futur. Une ressource pour penser l'anthropocène. *Spirale - Revue de recherches en éducation*, *70*(2), 113-123 https://doi.org/10.3917/spir.070.0113

Kattmann, U., Duit, R., Gropengiesser, H., et Komorek, M. (1996 - avril). Educational reconstruction–bringing together issues of scientific clarification and students' conceptions. *Annual meeting of the national association of research in science teaching (NARST)*, St. Louis.

Ogden, N. H., AbdelMalik, P., et Pulliam, J. (2017). Emerging infectious diseases: Prediction and detection. *Canada Communicable Disease Report = Releve Des Maladies Transmissibles Au Canada*, *43*(10), 206-211. https://doi.org/10.14745/ccdr.v43i10a03

Pereira. (2019, août 3). Ecopédagogie : Controverses et conscientisation [Billet]. *Les cahiers de pédagogies radicales*. https://pedaradicale.hypotheses.org/2641

Perron, S., Hasni, A., et Boilevin, J.-M. (2020). L'absence de savoir conceptuel lors de démarches d'investigation scientifique mises en œuvre en classe : Une crainte devenue réalité ? *Recherches en éducation*. *42*. https://doi.org/10.4000/ree.1643

Rickinson, M., Dillon, J., Teamey, K., Morris, M., Young Choi, M., Sanders, D. et Benefield, P. (2004). *A Review of Research on Outdoor Learning.* National Foundation for Educational Research and King's College London. https://www.informalscience.org/sites/default/files/Review%20of%20research%20on%20outdoor%20learning.pdf

Simonneaux, L., et Simonneaux, J. (2009). Students' socio-scientific reasoning on controversies from the viewpoint of education for sustainable development. *Cultural Studies of Science Education*, *4*(3), 657-687. https://doi.org/10.1007/s11422-008-9141-x

Les projets de sciences participatives à destination des élèves

Quelle(s) potentialité(s) pour une éducation à la durabilité ?

Perron Séverine [(1)], Marzin-Janvier Patricia [(2)], Castagneyrol Bastien [(3)], Sawtschuk Jérôme [(4)]
[(1)] LIESS, IUFE, Université de Genève – Suisse
[(2)] Univ Brest, Univ Rennes, CREAD, F-29200 Brest, France
[(3)] BIOGECO, INRAE, Université de Bordeaux – France
[(4)] Univ Brest, LABERS, F-29200 Brest, France

Résumé

Dans le cadre d'un projet de recherche collaborative, EDU OakBodyguards, entre des écologues, des didacticiennes des sciences et des enseignantes de sciences de la vie et de la Terre du secondaire 1, nous étudions comment les enseignants se saisissent des projets sciences participatives pour les transposer en classe. Nous centrons notre article sur l'analyse des contenus présents dans plusieurs canevas de séquence co-conçus avec des enseignantes de collège en France. Nos premiers résultats montrent une variété de contenus : des savoirs conceptuels, des habiletés, des savoirs épistémologiques et des valeurs. Cet accès à une forme de complexité des contenus en sciences, nous laisse apercevoir les potentialités des projets de sciences participatives en termes d'éducation à la durabilité.

Les limites de l'éducation formelle

L'évolution de nos sociétés vers un modèle d'organisation ancrée dans les limites planétaires apparaît comme une nécessité pour répondre aux inégalités sociales grandissantes et aux défis écologiques (Steffen *et al*., 2015). Une métamorphose du système de représentation du monde qui domine les sociétés occidentales semble indispensable. En tant qu'institution chargée de transmettre des savoirs, des savoir-faire, mais aussi un rapport au monde et des valeurs, l'École a un rôle essentiel à jouer dans cette évolution. Dans la perspective d'une transition écologique reposant sur des principes de durabilité forte, la mission générale de l'École serait de contribuer à un projet de « transformation » de société (Morin, 2014), impliquant un changement de paradigme, d'un paradigme moderne vers un nouveau paradigme adapté aux défis du XXIe siècle (Curnier, 2017). L'éducation aurait ainsi pour fonction de :

> créer les conditions pour l'émergence de personnes matures, fortes d'un soi écologique construit, dotées d'une vision de la Terre comme système vivant et interdépendant ayant une valeur intrinsèque. Des êtres porteurs de valeurs, d'un savoir-faire et d'un savoir-être permettant de vivre en concordance avec l'ensemble de la toile de la vie. (Egger, 2017, p. 122).

Par ailleurs, plusieurs travaux de recherche ont mis en évidence les limites du fonctionnement des disciplines scientifiques enseignées à l'École. Certaines études mettent en évidence que les pratiques effectives concernant les « éducations à » et notamment les « éducations au développement durable » correspondent soit à une approche utilitariste et comportementaliste, soit à une continuité « environnementaliste » (Barthes *et al.*, 2017). En effet, Barthes et ses collègues relatent qu'à l'école primaire (élèves âgés de 6 à 10 ans), l'approche privilégiée par les enseignants prend souvent la forme :

> d'une éducation aux éco-gestes et aux bonnes pratiques moralisatrices sans perspective critique (2017). Ainsi, le tri des déchets devient une activité répandue, parfois complétée par des études faunistiques et floristiques comme approche de la biodiversité ». (Barthes et al., 2017, p.86).

Au secondaire, les thématiques du développement durable (production alimentaire, etc.) sont le plus souvent des prétextes pour motiver les activités de classes coutumières.

En outre, le Conseil de l'Europe constate que les systèmes d'éducation formelle ne peuvent faire face, seuls, à l'évolution rapide (technologique, sociale, économique) de la société (Bordes, 2012).

Dans ce contexte, il y a une augmentation de l'engagement des organisations scientifiques (par exemple : des laboratoires universitaires, des industries, organismes de recherche, etc.) pour offrir divers types de partenariats avec les Écoles, où les élèves peuvent bénéficier de mises en œuvre de démarches scientifiques « authentiques » et/ou des débats socio-scientifiques (France et Compton, 2012 ; Affeldt *et al*., 2017). À ce jour, les modèles les plus communs de partenariats scientifiques avec les Écoles sont des scientifiques en visite dans les établissements scolaires ou des élèves en visite dans des laboratoires universitaires, où l'interaction directe avec les scientifiques a une influence positive sur l'intérêt des élèves vis-à-vis de la recherche scientifique et sur la compréhension de la carrière du chercheur (Wood-Townsend *et al.,* 2016).

Les sciences participatives à destination des élèves

Ces dernières années, un nouveau modèle de partenariat scientifique avec les Écoles a émergé dans le cadre de l'expansion plus large des projets de sciences participatives qui sont souvent qualifiés de « sciences citoyennes ». De façon générale, les projets dans lesquels les citoyens peuvent contribuer à la production de connaissances scientifiques ne sont pas nouveaux. Toutefois, depuis quinze ans, ces projets ont connu une évolution importante concernant la quantité et la qualité de la collecte des données (crowdsourcing) et la discussion portant sur les avantages et les limites du public participant au programme de recherche scientifique (Haklay, 2015 ; Hecker *et al*., 2018 ; Phillips *et al*., 2019). Surtout, il est avancé que les projets de sciences participatives peuvent bénéficier à la fois à la science et à la société, car ils génèrent des résultats qui ne peuvent être produits ni par les scientifiques seuls, ni par le public seul. Ils semblent particulièrement pertinents dans le domaine des études environnementales, où de grandes quantités de données sont nécessaires sur le long terme et dans de nombreux espaces pour suivre l'évolution de la biodiversité (Giroux, 2011 ; Wals *et al*., 2014 ; Saunders *et al*., 2018). L'amélioration de la culture scientifique du public par la participation à un projet de sciences participatives est régulièrement invoquée comme un résultat social majeur (Phillips *et al*., 2019). Des projets scientifiques impliquant les Écoles se sont développés dans de nombreux pays (« Globe » à l'international dont en Suisse, « Vigie-Nature École » en France, « Monarque Sans

Frontière » au Canada, « expérience de masse » en Suède). Ces projets ont un fort potentiel inclusif. En effet, ils ont l'avantage de pouvoir être déployés par des élèves de toutes les catégories sociales (Ruiz-Mallén *et al*., 2016). Cependant, contrairement aux projets à destination du grand public, les élèves qui participent à ces projets ne sont pas volontaires (Kelemen-Finan *et al*., 2018 ; Perron, 2021). Ils sont impliqués par leurs enseignants au même titre que toutes les autres activités scolaires. Dans de tels projets, les élèves sont le plus souvent invités à collecter des données dans leur environnement en utilisant des protocoles validés et proposés par les scientifiques. Les interactions avec les scientifiques varient suivant les objectifs des projets proposés aux Écoles et des choix didactiques/pédagogiques effectués par les enseignants. Celles-ci peuvent être indirectes à travers des documents partagés sur des sites Internet et des kits d'outils de collecte de données envoyés aux établissements scolaires ou directes lorsque les scientifiques échangent avec les élèves (en classe ou à distance).

De nombreuses recherches se sont intéressées aux apprentissages réalisés par le grand public lorsque des citoyens participent à un projet de sciences participatives (Crall *et al*., 2013 ; Cronin et Messemer, 2013 ; Golumbic *et al*., 2020). Cependant les travaux portant plus spécifiquement sur des projets de sciences participatives impliquant les Écoles dans le cadre de l'éducation formelle sont encore peu nombreux (Kelemen-Finan *et al.*, 2018 ; Roche *et al*., 2020 ; Aivelo et Huovelin, 2020 ; Kloetzer *et al*., 2021 ; Lüsse *et al.*, 2022) et parfois leurs résultats sont contradictoires (Dickinson et Crain, 2019). De plus, une revue systématique récente de la littérature pointe de façon générale un manque d'études expérimentales et longitudinales dans le domaine (Aristeidou et Herodotou, 2020). Néanmoins, plusieurs études évoquent le potentiel des projets de sciences participatives à destination des élèves. Koomen *et al*. (2018) suggèrent que la participation des élèves à de tels projets pourrait contribuer à leurs apprentissages scientifiques en termes de savoirs, de savoir-faire et sur la nature des sciences. Leuenberger et ses collègues (2019) soutiennent que les projets de sciences participatives offrent un potentiel intéressant pour le développement de méthodes scientifiques et d'enquêtes en classe. Il semble également que ces projets aient beaucoup de potentiel pour l'éducation aux questions environnementales et à la durabilité (Hiller et Kitsantas, 2014 ; Schleicher et Schmidt, 2020). Quelques travaux se sont plus particulièrement intéressés aux résultats d'apprentissage des élèves. Queiruga-Dios *et al*. (2020) ont enregistré une amélioration significative de la compréhension des processus et des situations scientifiques ainsi que des attitudes envers les sciences et la technologie.

Plusieurs auteurs ont signalé une augmentation de l'auto-efficacité perçue et de l'intérêt des élèves pour le contenu du projet ou les sujets scientifiques en général à la suite de la participation des élèves à un projet de sciences participatives dans le contexte de l'enseignement formel (Hiller et Kitsantas, 2014 ; Kelemen-Finan *et al*., 2018 ; Ruiz-Mallén *et al*., 2016). Les élèves peu performants en particulier peuvent tirer bénéfice par le fait d'être confrontés à de nouvelles situations qui diffèrent de leurs expériences habituelles en classe (Silva *et al*., 2016). Des apprentissages significatifs en termes de démarches scientifiques ont été observés lorsque l'argumentation ou le développement d'un jugement critique sont des éléments centraux du projet de sciences participatives (Baptista *et al*., 2018 ; Kermish-Allen *et al*., 2019). D'autres travaux ont mis en évidence que les élèves acquièrent des connaissances scientifiques liées au contenu spécifique du projet (Aivelo et Huovelin, 2020). Les projets qui se concentrent, par exemple, sur des organismes vivants tels que les abeilles ou les oiseaux entraînent souvent un gain de connaissances naturalistes (Baptista *et al*., 2018 ; Scheuch *et al*., 2018). Enfin, Vetenskap et Allmänhet (2021) ont montré que les élèves peuvent acquérir des connaissances et modifier leur comportement en lien avec la durabilité et plus particulièrement sur le gaspillage alimentaire.

Dans ce contexte, cet article se propose, à partir des premiers résultats du projet de recherche *EDU OakBodyguards*, d'éclairer les potentialités des projets de sciences participatives à destination des élèves en termes d'éducation à la durabilité. Ce projet implique des enseignants, des scientifiques porteurs d'un projet de sciences participatives et des didacticiennes des sciences. Nous nous sommes particulièrement intéressés ici aux contenus présents dans des séquences d'enseignements basées sur les sciences participatives au cycle 3 (secondaire 1). En effet, nous supposons que de telles séquences pourraient proposer des contenus variés notamment en termes de savoirs et ainsi donner l'opportunité aux élèves d'accéder à la complexité des questions de durabilité.

L'analyse de séquences d'enseignement basées sur un projet de sciences participatives

Trois séquences d'enseignement ont été construites par des enseignantes volontaires autour du projet de sciences participatives *Oak Bodyguards*[25] initié par des écologues de l'INRAE et qui cherche à déterminer comment le climat influence les dégâts causés par les insectes herbivores sur le chêne pédonculé *Quercus robur*. Pour cela, il est mis en place sur les végétaux des leurres en pâte à modeler imitant la forme et la taille de vraies chenilles (figure 1), dans le but de dénombrer les attaques de prédateurs qui laissent des traces de bec, de dents ou de mandibules. En s'appuyant sur cette méthode, les scientifiques de l'INRAE ont conçu et mis à la disposition des enseignants un protocole que les élèves doivent respecter scrupuleusement.

Figure n°1 : les chenilles en pâte à modeler

Trois enseignantes volontaires et expérimentées ont participé à cette étude. Elles ont proposé trois séquences pour des élèves de collège (élèves âgés de 11 à 15 ans) : deux séquences pour des élèves de 6ème et une séquence pour des élèves Ulis[26] (enseignante C). Par ailleurs, pendant le processus de co-construction, elles ont bénéficié d'apports en didactique des sciences, en écologie à propos des interactions plantes-herbivores, et en cartographie par photo-interprétation de l'occupation du sol. La méthodologie employée pour ce projet s'inscrit dans le cadre de l'ingénierie didactique pour le développement et la formation

[25] https://sites.google.com/view/oakbodyguards/home/fran%C3%A7ais?authuser=0

[26] Unités localisées d'inclusion scolaires : les ULIS sont des classes particulières dans des établissements scolaires ordinaires pour la scolarisation d'élèves en situation de handicap.

(Perrin-Glorian, 2011) et des *Design Based Research* (Brown, 1992) (Figure 2). Une telle conception repose sur une coopération particulière entre enseignants et chercheurs. Ceux-ci travaillent ensemble, selon un processus itératif, pour produire des hypothèses d'amélioration de la pratique, les mettre en œuvre dans les classes, les évaluer, les transformer, les mettre en œuvre de nouveau, etc.

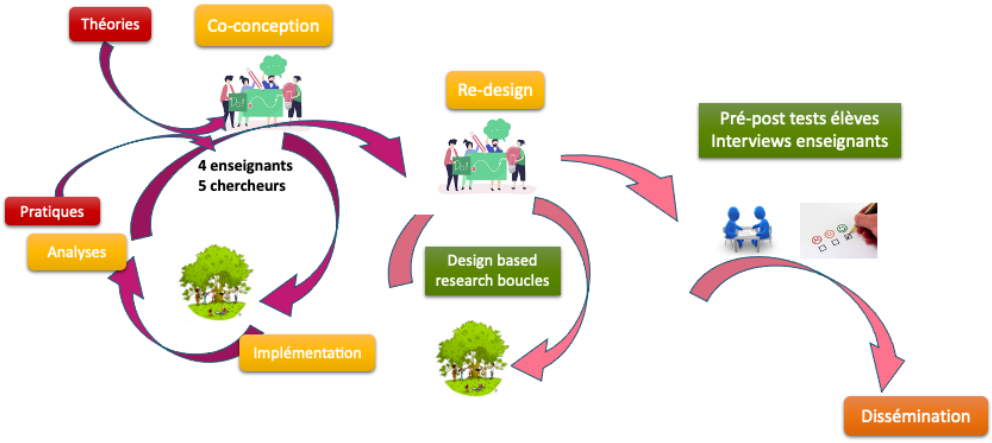


Figure n°2 : processus itératif de co-conception des séquences d'enseignement

Les canevas détaillés des trois séquences ont été analysés en termes de contenus à l'aide d'une grille construite a priori à partir du cadre de référence détaillé dans la section suivante. Nous précisons qu'il ne s'agit pas ici d'une étude comparative en soi mais d'identifier les différentes possibilités de chacune des séquences.

Les contenus en sciences

Les projets de sciences participatives semblent permettre aux participants des apprentissages variés ne se limitant pas aux savoirs scolaires présents dans les curricula. C'est pourquoi, une entrée par les contenus permet d'élargir notre analyse au-delà des savoirs conceptuels et des savoir-faire (sans pour autant les laisser de côté) à d'autres éléments qui peuvent émerger des canevas de séquence, comme des compétences, des valeurs, des pratiques, des « rapports à », voire des comportements ou des attitudes.

En nous appuyant sur des travaux antérieurs (Hasni et Bousadra, 2020 ; Albe, 2008 ; Guichard et Martinand, 2000 ; Barthes *et al.*, 2017) nous pouvons déjà évoquer différents types de contenus (de manière non exhaustive) susceptibles d'être présents dans les canevas de séquence (tableau 1). Nous nous intéressons donc aux savoirs conceptuels, aux savoir-faire (habiletés), aux attitudes et aux démarches scientifiques (DS) en lien avec l'écologie (dimension disciplinaire). Nous considérons que les DS s'articulent avec les autres savoirs

disciplinaires au sein d'un processus circulaire. Ces démarches reposent sur un problème construit par les élèves et qu'elles sont composées de différents éléments caractérisant les moments-clés : 1) formuler un problème scientifique ; 2) planifier et mettre en œuvre l'investigation scientifique (démarches expérimentales, d'observations, de modélisations, etc.) ; 3) formuler des énoncés scientifiques.

Dimension disciplinaire	Biologie	Savoirs conceptuels Savoir-faire (habiletés) Attitudes Démarches scientifiques
Dimension épistémologique	Savoirs sur les savoirs en biologie	Histoire des sciences Le métier d'écologue Savoirs sur les démarches scientifiques
Dimension individuelle et sociale	Problématiques sociétales Comportements Valeurs Normes Rapport à Compétences Émotions	

Tableau n°1 : Quelques types de contenus pris en compte dans notre étude

Nous portons également notre attention sur des savoirs faisant référence aux « savoirs sur » les savoirs scientifiques en s'interrogeant sur la nature de ces savoirs, sur les processus de leur production, sur la relation entre ces savoirs et la réalité ainsi que sur l'évolution historique des savoirs et de la pensée scientifique (dimension épistémologique). Enfin, nous sommes attentifs aux problématiques sociétales que pourraient évoquer les enseignants éventuellement en lien avec des comportements, des valeurs, des normes, des rapports à, etc. (dimension individuelle et sociale). « Les valeurs » renvoient à des choix de l'individu qui expriment des objectifs à atteindre ou qui donnent du sens aux actions de chacun (Leleux, 1998 ; Pagoni, 2017). Ces valeurs peuvent être de différentes natures (économique, humaniste, etc.) et être partagées par plusieurs personnes sans prendre a priori une posture normative (force d'obligation). Le concept de « rapport à » désigne :

> l'ensemble des relations qu'un sujet entretient avec un objet, un contenu de pensée, une activité, une relation interpersonnelle, un lien, une personne, une situation, une occasion, une obligation, etc., lié en quelque façon à l'apprendre et au savoir – par là-même, il est aussi rapport au langage, rapport au temps, rapport à l'activité dans le monde et sur le monde, rapport aux autres, et rapport à soi-même comme plus ou moins capable d'apprendre telle chose, dans telle situation. (Charlot, 1997, p. 94).

Les premiers résultats : une variété de contenus présents dans les séquences

Les contenus de la dimension disciplinaire

Les contenus de la dimension disciplinaire en lien avec l'écologie sont variés et représentés dans chacune des trois séquences étudiées (voir figure 3). L'enseignante A évoque uniquement des savoirs en écologie (notion d'écosystème, réseaux trophiques, etc.). L'enseignante B note également des savoirs en géographie (modifications du paysage : zones agricoles devenues des zones urbaines). L'enseignante C centre les apprentissages des élèves sur des savoirs en mathématiques (reconnaître des situations réelles pouvant être modélisées par des relations géométriques). Pour les habiletés, les 3 enseignantes visent des apprentissages portant sur 1/utiliser le matériel adapté pour mener une observation, effectuer une mesure, réaliser une expérience ou une production ; 2/utiliser les outils mathématiques adaptés ; 3/utiliser différents modes de représentation formalisés (schéma, dessin, croquis, tableau, graphique, texte). Les enseignantes B et C proposent des objectifs en lien avec le numérique (notés en bleu sur la figure 3). Nous notons que l'enseignante C a inscrit des habiletés spécifiques (en lien avec le profil de ses élèves) dans son canevas de séquence (identifier, expliquer, choisir, comparer, relier, essayer, appliquer, s'engager). Concernant les attitudes, les trois enseignantes évoquent le travail collectif de leurs élèves ainsi que la rigueur nécessaire à la mise en œuvre d'une DS et tout particulièrement lors de l'utilisation du protocole et de l'analyse des résultats. Là encore, l'enseignante C cite d'autres attitudes telles que « oser entrer en communication ».

Les différentes composantes des démarches scientifiques sont également présentées par les enseignantes (formuler une question, proposer/mettre en œuvre une investigation scientifique, analyser les résultats et formuler des énoncés), avec des différences significatives.

		Séquence A (6èmes)	Séquence B (6èmes)
La dimension disciplinaires	Savoirs conceptuels	Ecosystème, interaction des êtres vivants entre eux et avec leur environnement, conséquences d'une modification d'un facteur physique ou biologique sur l'écosystème, la biodiversité un réseau dynamique, tout être vivant produit sa matière à partir de celle qu'il prélève. Cascade trophique, réseau alimentaire autour du chêne pédonculé.	Ecosystème, interaction des êtres vivants entre eux et avec leur environnement, cascade trophique. Conséquences d'une modification d'un facteur physico-chimique d'un milieu. *"Un milieu de vie est caractérisé par sa température, son hygrométrie, son altitude, sa lumière, … Un seul facteur peut modifier tout l'équilibre."* Le paysage a été modifié : des zones agricoles sont devenues des zones urbaines.
	Habiletés	Utiliser le matériel adapté pour mener une observation, effectuer une mesure, réaliser une expérience et une production. Utiliser les outils mathématiques adaptés : calcul de pourcentages Utiliser différents modes de représentation formalisés: schéma, tableau.	Utiliser le matériel adapté pour mener une observation, effectuer une mesure, réaliser une expérience ou une production. Utiliser les outils mathématiques adaptés. Utiliser différents modes de représentation formalisés (schéma, dessin, croquis, tableau, graphique, texte). Utiliser une clé de détermination Effectuer des recherches sur internet. Utilisation du site *remonter le temps.ign* Organiser seul ou **en groupe** un espace de réalisation expérimentale.
	Attitudes	Rigueur, travail collectif	Rigueur, travail collectif

Figure n°3 : extrait de la grille d'analyse

La question posée par l'enseignante A et ses élèves est d'ordre social (« Comment peut-on étudier ce réseau alimentaire pour aider les écologues? »), celle émise par la classe de l'enseignante B est d'ordre scientifique (« Nous avons découvert la biodiversité du collège, la croissance des êtres vivants (EV), le devenir de la matière organique, quelles sont les autres interactions entre des EV ? ») et la question énoncée par l'enseignante C, est en lien avec une problématique de société (« Comment le réchauffement climatique peut-il modifier la croissance des chênes ? »). L'enseignante B propose un travail plus approfondi avec ses élèves sur le protocole expérimental. Ces derniers proposent et critiquent leur propre protocole avant de mettre en œuvre celui construit par les scientifiques. Cette analyse fait apparaître l'important travail de transposition effectué par les enseignantes pour adapter la séquence à leurs propres contextes.

Les contenus de la dimension épistémologique

Les contenus de la dimension épistémologique sont également variés et représentés dans chacun des trois canevas de séquence étudiés. Les trois enseignantes souhaitent que les élèves comprennent les activités réalisées par les écologues. Des savoirs sur la construction des savoirs scientifiques sont également présents dans les canevas de séquence. Nous pouvons, à titre d'exemples, citer l'importance de suivre rigoureusement le protocole construit par les scientifiques pour agréger les données, le travail de construction d'un protocole envisagé par l'enseignante B, la notion de généralisation des résultats obtenus ou

encore le fait que les enseignantes ne connaissent pas les résultats de l'expérimentation. A travers les contenus de cette dimension, plusieurs points importants sont également mis en avant par les enseignantes A et B, il s'agit de « l'incertitude » et de la « temporalité » inhérentes aux recherches en écologie.

Les contenus de la dimension individuelle et sociale

Contrairement aux deux autres dimensions développées précédemment, la dimension sociale est uniquement prise en compte par l'enseignante A qui souhaite, qu'à travers cette séquence d'enseignement basée sur un projet de sciences participatives, les élèves mettent en œuvre une action responsable et citoyenne, individuellement et collectivement. Elle espère également que ses élèves témoignent de leur action auprès de leur famille et qu'ils s'engagent individuellement dans de nouveaux projets de sciences participatives. Elle attend que ses élèves participent à un projet qui dépasse les problématiques locales en aidant des scientifiques.

Les contenus non envisagés par notre grille : le discours sur l'authenticité

Un autre type de contenu, qui ne peut être classé dans notre grille d'analyse, apparait dans les canevas de séquences des trois enseignantes. Il s'agit d'éléments qui ne sont pas présentés comme des savoirs sur les savoirs scientifiques mais qui sont en lien avec l'authenticité du monde réel (Schriebl *et al.*, 2022) du projet de sciences participatives. Les enseignantes semblent avoir à cœur de créer, à travers leurs discours et des ressources didactiques, tout au long des séances de classe, un lien indirect avec le projet *Oak bodyguards*. En effet, il n'est pas prévu que les élèves rencontrent ou échangent avec les scientifiques. Elles évoquent par exemple le visionnage d'une vidéo de présentation du projet de sciences participatives réalisée par les scientifiques, le protocole construit par les scientifiques ou encore le matériel fourni par les écologues pour recueillir les données. Par ailleurs, le canevas de l'enseignante C précise à plusieurs reprises l'idée « d'aider les scientifiques ».

Vers une complexité de l'enseignement des sciences nécessaire à l'éducation à la durabilité

Lors de précédents travaux (Perron *et al.*, 2020), nous avons montré que l'articulation des savoirs en sciences ne va pas de soi pour les enseignants. Nous avons également mis en

évidence que la construction d'une véritable séquence d'enseignement basée sur les sciences participatives est nécessaire pour aller au-delà du simple recueil de données réalisé par les enseignants et/ou les élèves (Perron, 2021).

Les résultats décrits dans cet article montrent que chaque enseignante ayant construit une séquence d'enseignement basée sur le projet *Oak bodyguards* a l'intention de faire travailler ses élèves sur des contenus variés et articulés, relevant des trois dimensions. Une démarche scientifique tient une place centrale, et semble s'appuyer sur des savoirs préalablement acquis par les élèves (chaînes alimentaires, identification des êtres vivants, etc.) et permettre la reconstruction de nouveaux savoirs. Des habiletés techniques (la fabrication des leurres) et langagières (la construction d'un tableau) ainsi que des attitudes (travailler de façon collective) sont également travaillées lors de la mise en œuvre de cette démarche scientifique. La dimension épistémologique est évoquée tout au long des démarches. De plus, une enseignante travaille tout particulièrement la dimension individuelle et sociale. Enfin, des contenus directement en lien avec « l'authenticité » du projet *Oak bodyguards* apparaissent également dans chacun des canevas proposés par les enseignantes. Ce dernier élément donne aux séquences d'enseignement proposées par les enseignantes une dimension scientifique au-delà des murs de l'École. En outre, il est intéressant de préciser que contrairement aux contenus se rattachant à la dimension individuelle et sociale et ceux provenant du discours sur l'authenticité du projet, les contenus en lien avec les dimensions disciplinaire et épistémologique notés par les enseignantes dans leur canevas de séquence, sont inscrits comme des objectifs d'apprentissage, c'est-à-dire des savoirs à acquérir par les élèves.

Ces canevas de séquence illustrent, selon nous, le fort potentiel des projets de sciences participatives tel que *Oak Bodyguards* pour donner un accès à la complexité aux élèves, notion nécessaire pour une éducation à la durabilité. Il ne s'agit pas ici d'une complexité en lien avec la dynamique du passé et du présent ou avec une projection dans le futur mais davantage en termes d'articulation de différents contenus à l'intérieur même d'une discipline favorisant notamment un accès à l'incertitude et la temporalité des recherches scientifiques (Nedelec, 2018).

Cependant, les possibilités offertes par ces séquences ne prédisent pas les apprentissages effectivement réalisés. Ces premiers résultats seront donc complétés par l'analyse de questionnaires pré et post tests proposés aux élèves. Enfin, nos résultats posent la question

de la transposition didactique des contenus proposés par les scientifiques pour concevoir les séquences d'enseignement, dont certains sont insuffisamment maîtrisés par les enseignantes et/ou non présents dans les programmes scolaires. Ceci montre la nécessité d'un interconnaissance réciproque des acteurs impliqués pour construire des projets de sciences participatives.

Bibliographie

Affeldt, F., Tolppanen, S., Aksela, M., et Eilks, I. (2017). The potential of the non-formal educational sector for supporting chemistry learning and sustainability education for all students – a joint perspective from two cases in Finland and Germany. Chemistry Education *Recherche and Practice*, 18(1), 13-25. https://doi.org/10.1039/C6RP00212A

Aivelo, T., et Huovelin, S. (2020). Combining formal education and citizen science: A case study on students' perceptions of learning and interest in an urban rat project. *Environmental Education Research*, 26(3), 324-340. https://doi.org/10.1080/13504622.2020.1727860

Albe, V. (2008). Pour une éducation aux sciences citoyenne. Une analyse sociale et épistémologique des controverses sur les changements climatiques. *Aster, 46, 45-70*.

Aristeidou, M., et Herodotou, C. (2020). Online citizen science: A systematic review of effects on learning and scientific literacy. *Citizen Science: Theory and Practice, 5*(1), 1-12. https://doi.org/10.5334/cstp.224.

Barthes, A., Lange, J-M., et Tutiaux-Guillon, N. (2017). *Dictionnaire critique des enjeux et concepts des « éducation à »*. L'harmattan.

Baptista, M., Reis, P., et de Andrade, V. (2018). Let's save the bees! An environmental activism initiative in elementary school. *Visions for Sustainability*, 9, 41–48. https://doi.org/10.13135/2384-8677/2772.

Bordes, V. (2012). L'éducation non formelle. *Les dossiers des sciences de l'éducation, 28*, 7-11.

Bosdeveix, R., Crépin-Obert, P., Fortin, C., Leininger-Frézal, C., Regad, L., et Turpin, S. (2018). Étude des pratiques enseignantes déclarées concernant le programme de sciences citoyennes Vigie-Nature École. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies, 18*, 79-102. https://doi.org/10.4000/rdst.2041

Brown, A. L. (1992). Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions. *Journal of the Learning Sciences*, *2*(2), 141-178.

Charlot, B. (1997). *Du Rapport au savoir. Éléments pour une théorie*. Anthropos.

Crall, A. W., Jordan, R., Holfelder, K., Newman, G. J., Graham, J., et Waller, D. M. (2013). The impacts of an invasive species citizen science training program on participant attitudes, behavior, and science literacy. *Public Understanding of Science, 22*(6), 745–764. https://doi.org/10.1177/0963662511434894

Cronin, D. P., et Messemer, J. E. (2013). Elevating adult civic science literacy through a renewed citizen science paradigm. *Adult Learning, 24*(4), 143–150. https://doi.org/10.1177/1045159513499550

Curnier, D. (2017). Éducation et durabilité forte : considérations sur les fondements et les finalités de l'institution. *La Pensée écologique, 1*, 252-271. https://doi.org/10.3917/lpe.001.0252

Dickinson, J. L., et Crain, R. (2019). An experimental study of learning in an online citizen science project: Insights into study design and waitlist controls. *Citizen Science: Theory and Practice*, *4*(1): 26, 1-13. https://doi.org/10.5334/cstp.218

Egger, M. (2017). *Écopsychologie*. Jouvence.

France, B., et Compton, V. (Éd.). (2012). *Bringing Communities Together: Connecting Learners with Scientists or Technologists*. SensePublishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6091-791-2

Giroux, M. (2011, 22 au 26 mars). *La participation citoyenne, un outil pour mieux connaître la biodiversité´ : portrait nord-américain*. Présentation aux Troisièmes Rendez-vous de l'Accord Canada-France, Biodôme de Montréal.

Golumbic, Y. N., Fishbain, B., et Baram-Tsabari, A. (2020). Science literacy in action: Understanding scientific data presented in a citizen science platform by non-expert adults. *International Journal of Science Education, Part B, 10*(3), 232–247. https://doi.org/10.1080/21548455.2020.1769877

Guichard, J. et Martinand, J. (2000). *Médiatique des sciences*. Presses Universitaires de France.

Haklay, M. (2015). *Citizen science and policy: a European perspective*. Woodrow Wilson International Center for Scholars, 4.

Hasni. A. et Bousadra, F. (2020). Les finalités éducatives pour les sciences : entre l'idéal des chercheurs et du curriculum et les défis de leur opérationnalisation dans les manuels et dans les pratiques d'enseignement. *In* Y. Lenoir, J. Bourque, A. Hasni, R. Nagy et M. Priolet (dir.). *Les finalités éducatives scolaires. Une étude critique des approches théoriques, philosophiques et idéologiques. Tome 2 : conceptions des finalités et des disciplines scolaires chez des enseignants du primaire : une étude comparative internationale* (p. 363-392). Saint-Lambert : Éditions Cursus universitaire.

Hecker, S., Haklay, M., Bowser, A., Makuch, Z., Vogel J., et Bonn A. (2018). *Citizen Science: Innovation in Open Science, Society and Policy*. (1st ed..). https://doi.org/10.2307/j.ctv550cf2

Hiller, S. E., et Kitsantas, A. (2014). The effect of a horseshoe crab citizen science program on middle school student science performance and STEM career motivation. *School Science and Mathematics, 114*(6), 302–311.

Kelemen-Finan, J., Scheuch, M., et Winter, S. (2018). Contributions from citizen science to science education: An examination of a biodiversity citizen science project with schools in Central Europe. *International Journal of Science Education, 40*(17), 2078 2098. https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1520405

Kermish-Allen, R., Peterman, K., et Bevc, C. (2019). The utility of citizen science projects in K-5 schools: Measures of community engagement and student impacts. *Cultural Studies of Science Education, 14*(3), 627–641. https://doi.org/10.1007/s11422-017-9830-4

Kloetzer, L. [Laure], Lorke, J., Roche, J., Golumbic, Y., Winter, S., et Jõgeva, A. (2021). Learning in citizen science. *In* K. Vohland, A. M. Land-Zandstra, L. Ceccaroni, R. Lemmens, J. Perelló, et M. Ponti (Eds.), *The science of citizen science* (1st ed., p. 283–308). Springer International Publishing; Imprint: Springer.

Koomen, M. H., Rodriguez, E., Hoffman, A., Petersen, C., et Oberhauser, K. (2018). Authentic science with citizen science and student-driven science fair projects. *Science Education, 102*(3), 593-644. https://doi.org/10.1002/sce.21335

Leleux, C. (1998). Valeurs et normes, quelles universalités pour quelle morale ? *Spirale, 21*, 135-144.

Leuenberger, W., Larsen, E., Leuenberger, J., et Parry, D. (2019). Predation on Plasticine Model Caterpillars: Engaging High School Students Using Field-Based Experiential Learning Camp; the Scientific Process. *The American Biology Teacher, 81*(5), 334 339. https://doi.org/10.1525/abt.2019.81.5.334

Lüsse, M., Brockhage, F., Beeken, M. et Pietzner, V. (2022) Citizen science and its potential for science education. *International Journal of Science Education, 44*(7), 1120-1142. DOI: 10.1080/09500693.2022.2067365

Morin, E. (2014). *Enseigner à vivre. Manifeste pour changer l'éducation*. Arles : Actes Sud.

Nedelec L. (2018) *L'éducation aux sciences dans un monde incertain, comment les enseignantes appréhende-t-elle les incertitudes de la question vives de la transition Agroécologique ?* Thèse de doctorat de l'université de Toulouse.

Pagoni, M. (2017). Éducation aux valeurs. *Dans* Barthes, A., Lange, J-M., et Tutiaux-Guillon, N. (dir,), *Dictionnaire critique des enjeux et concepts des « éducation à »* (p. 257-265). L'harmattan.

Perrin-Glorian M.J. (2011) L'ingénierie didactique à l'interface de la recherche avec l'enseignement. Développement de ressources et formation des enseignants. *In* C. Margolinas et al. (Eds.) *En amont et en aval des ingénieries didactiques* (p. 57-78). La pensée sauvage.

Perron, S., Hasni, A. et Boilevin, J.-M. (2020). L'absence de savoir conceptuel lors de démarches d'investigation scientifique mises en œuvre en classe : une crainte devenue réalité ? *Recherches en Education (en ligne), 42*. https://doi.org/10.4000/ree.1643

Perron, S. (2021). Les projets de sciences citoyennes à l'École : quelles pratiques d'enseignement ? *Review of Science, Mathematics and ICT Education, 15*(1), 25-43. https://doi.org/10.26220/REV.3572

Phillips, T. B., Ballard, H. L., Lewenstein, B. V., et Bonney, R. (2019). Engagement in science through citizen science: Moving beyond data collection. *Science Education, 103*(3), 665-690.

Queiruga-Dios, MÁ, López-Iñesta, E., Diez-Ojeda, M., Sáiz-Manzanares, M. C., et Vázquez Dorrío, J. B. (2020). Citizen science for scientific literacy and the attainment of sustainable development goals in formal education. *Sustainability (en ligne), 12*(10), 4283. https://doi.org/10.3390/su12104283

Roche, J., Bell, L. [Laura], Galvão, C., Golumbic, Y. N., Kloetzer, L. [Laure], Knoben, N., Laakso, M., Lorke, J., Mannion, G., Massetti, L., Mauchline, A., Pata, K., Ruck, A., Taraba, P., et Winter, S. (2020). Citizen science, education, and learning: Challenges and opportunities. *Frontiers in Sociology (en ligne), 5*, 613814. https://doi.org/10.3389/fsoc.2020.613814

Ruiz-Mallén, I., Riboli-Sasco, L., Ribrault, C., Heras, M., Laguna, D., et Perié, L. (2016). Citizen science: Toward transformative learning. *Science Communication, 38*(4), 523–534. https://doi.org/10.1177/1075547016642241

Saunders, ME, Roger, E., Geary, WL, Meredith, F., Welbourne, DJ, Bako, A., Canavan, E., Herro, F., Herron, C., Hung, O., Kunstler, M., Lin, J., Ludlow, N., Paton, M., Salt, S., Simpson, T., Wang, A., Zimmerman, N., Drews, K. B, … Moles, A. T. (2018). Citizen science in schools: Engaging students in research on urban habitat for pollinators. *Austral Ecology, 43*(6), 635-642. https://doi.org/10.1111/aec.11608

Scheuch, M., Panhuber, T., Winter, S., Kelemen-Finan, J., Bardy-Durchhalter, M., et Kapelari, S. (2018). Butterflies et wild bees: Biology teachers' PCK development through citizen science. *Journal of Biological Education, 52*(1), 79–88. https://doi.org/10.1080/00219266.2017.1405530

Schleicher, K., et Schmidt, C. (2020). Citizen science in Germany as research and sustainability education: Analysis of the main forms and foci and Its relation to the sustainable development goals. *Sustainability (en ligne), 12*(15), 6044. https://doi.org/10.3390/su12156044

Schriebl, D., Müller, A., et Robin, N. (2022). Modelling Authenticity in Science Education. Science et Education, 1-28. https://doi.org/10.1007/s11191-022-00355-x

Silva, C., Monteiro, A. J., Manahl, C., Lostal, E., Schäfer, T., Andrade, N., Brasileiro, F., Mota, P., Serrano Sanz, F., Carrodeguas, J., et Brito, R. (2016). Cell spotting: educational and motivational outcomes of cell biology citizen science project in the classroom. *Journal of Science Communication (en ligne), 15*(01). https://doi.org/10.22323/2.15010202

Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O. et Ludwig, C. (2015). The trajectory of the Anthropocene: the great acceleration. *The Anthropocene Review, 2*(1), 81-98.

Vetenskap, et Allmänhet, (Ed.). (2021). *Svinnkollen Slutrapport - Forskarfredags Massexperiment 2020: Svinkollen final report - ForskarFredags Mass Experiment 2020*. VA (Public et Science).

Wals, AEJ, Brody, M., Dillon, J. et Stevenson, RB (2014). Convergence between science and environmental education. *Science, 344*, 583-584.

Woods-Townsend, K., Christodoulou, A., Rietdijk, W., Byrne, J., Griffiths, JB et Grace, MM (2016). Meet the Scientist: The Value of Short Interactions Between Scientists and Students. *International Journal of Science Education, Part B, 6*(1), 89-113. https://doi.org/10.1080/21548455.2015.1016134

Vigie-Nature École : un « outil » au service d'une éducation à l'environnement et au développement durable ?

Turpin Sébastien, Fortin Corinne
Laboratoire de Didactique André Revuz (LDAR), Univ. de Rouen Normandie, Univ. de Lille, Univ. Paris-Est Créteil Val-de-Marne - Paris 12, Univ. Paris Cité, CY Cergy Paris Univ : EA_4434 – France

Résumé

Notre contribution au symposium « Éducation au Développement durable dans le contexte du changement climatique » s'appuie sur le dispositif de sciences citoyennes « Vigie-Nature École » (VNE) porté par le Muséum national d'histoire naturelle (MNHN). Deux grands objectifs éducatifs peuvent guider la mise en œuvre de VNE : d'une part, faire participer les élèves à la récolte des données sur la biodiversité pour les transmettre au MNHN, d'autre part, prendre en compte ces données pour les intégrer dans des problématiques socio-scientifiques (pollution, urbanisation, changement climatique, etc.). Dans l'enseignement des SVT, le premier objectif est généralement privilégié. Nous discutons ici, à partir d'une étude avec des classes de seconde, de l'intérêt mais aussi des limites de l'apport du dispositif de VNE pour engager les élèves dans des raisonnements socio-scientifiques conduisant à des choix décisionnels de protection de la biodiversité face aux changements globaux.

Introduction

La question de l'urgence environnementale n'est plus à démontrer et la communauté scientifique parle d'une possible sixième crise d'extinction des espèces (Cowie et al., 2022). Pour être surmontée, cette crise écologique nécessite d'importants changements, individuels et collectifs, durables et globaux dans nos modes de vie, nos valeurs, mais également notre relation au vivant. Ces changements transformateurs (IPBES, 2019) ne peuvent pas être décrétés mais doivent être issus d'un choix collectif et démocratique. Le dernier rapport du GIEC (Shukla et al., 2022) insiste sur la nécessité d'impliquer l'ensemble des acteurs sociaux (entreprises, secteur financier, citoyens…) pour réduire l'impact humain sur l'environnement en limitant notamment les émissions de gaz à effet de serre. Plusieurs auteurs (Ayotte-Beaudet et al., 2017; Chen et Cowie, 2013), soulignent que des temps de rencontre avec la nature permettent de dépasser la seule construction de connaissances et favorisent le développement d'attitudes, de valeurs, d'émotions qui ont probablement un rôle dans l'envie d'agir pour préserver l'environnement.

L'éducation est une des clés pour engager ces transformations sociétales. Cependant, plusieurs études (Chawla et Cushing, 2007; Chawla et Derr, 2012; Robert-Mazaye et al., 2021) dressent le constat que l'institution scolaire s'appuie souvent sur des éco-gestes individuels (ex : trier ses déchets) plutôt que sur des approches plus globales et critiques. Ces éco-gestes, bien que nécessaires, ne sont pas suffisants au regard de l'ampleur des enjeux environnementaux. En se limitant à ce type d'actions, les élèves risquent, en outre, de ne pas percevoir l'importance des choix collectifs et la responsabilité des États. Ainsi, Lange (2015) estime que pour relever les défis environnementaux actuels et à venir, une éducation « facilitant l'émergence et participant à l'élaboration d'orientations sociétales » (p. 2) est nécessaire. Ces activités doivent aider les élèves à développer une conscience écologique (Broom, 2017 ; Chawla, 2008) pour les amener à prendre des décisions éclairées.

Les sciences citoyennes semblent justement offrir de nouvelles opportunités éducatives en favorisant une prise de conscience des effets des activités humaines sur la biodiversité. En proposant des protocoles d'identification et de comptage des espèces dans l'environnement proche, les élèves peuvent développer des compétences scientifiques (Conversy et al., 2019 ; Perron, 2021). Néanmoins le processus de conscientisation (Freire, 1974) nécessite d'aller au-delà. Il implique une analyse critique de l'état de la biodiversité pour que les élèves puissent s'engager en tant qu'acteurs éco-citoyen de sa protection.

Dans le cadre de ce chapitre, nous présenterons le dispositif de sciences citoyennes porté par le Muséum national d'Histoire naturelle : « Vigie-Nature » et sa déclinaison pour les scolaires « Vigie-Nature École ». Notre recherche porte sur l'intégration de VNE comme un « outil » possible au service d'une éducation à l'environnement et au développement durable (EEDD) en mobilisant le raisonnement socio-scientifique (RSS) en vue de protéger la biodiversité à l'échelle locale.

Vigie-Nature École : une déclinaison de Vigie-Nature

Les sciences citoyennes (SC) impliquent, à des degrés divers, les citoyens dans des démarches scientifiques pour construire de nouvelles connaissances ou une meilleure compréhension des phénomènes étudiés (Bonney et al., 2009 ; Haklay, 2013). Elles englobent une gamme d'activités très variées (Irwin, 2015) : certains programmes limitent la participation à une forme prescrite et soigneusement conçue par les chercheurs tandis que d'autres programmes offrent au public l'opportunité de participer à chaque étape du processus de recherche. Ainsi, les relations entre les scientifiques et les citoyens sont extrêmement variées et l'implication de citoyens aux différents stades d'une recherche peut favoriser une responsabilisation démocratique sur la direction et la création de la recherche scientifique. Kelemen-Finan, Scheuch et Silvia Winter (2018) ont ainsi montré que la participation à un dispositif de sciences citoyennes a des impacts sur l'intérêt des élèves pour les sciences mais aussi sur leurs connaissances, motivations, comportements et attitudes pour le sujet étudié.

Le programme Vigie-Nature (VN) du Muséum national d'histoire naturelle (MNHN) permet à des citoyens de participer à des collectes de données. L'ensemble de ces amateurs constitue un réseau de suivi spatio-temporel des espèces communes. La mise en œuvre répétée des protocoles par de nombreux observateurs, dans l'espace et le temps, permet une exploitation statistique des données afin de mieux connaître et de mesurer les pressions qui s'exercent sur la biodiversité. Parmi les causes de déclin (IPBES, 2019), on peut citer les changements climatiques mais aussi l'urbanisation, les pesticides, etc. L'analyse des données issues de protocoles de VN a ainsi montré que la biodiversité était déjà impactée par le réchauffement climatique (Devictor et al., 2012 ; Martin et al., 2019) comme par d'autres facteurs (l'urbanisation ou l'utilisation de pesticides par exemple) (Fontaine et al., 2016 ; Muratet et

Fontaine, 2015). Un autre objectif de VN est de produire des indicateurs visant à éclairer la décision publique pour favoriser des politiques de préservation de la biodiversité menacée[27].

Avec le dispositif Vigie-Nature École (VNE), le MNHN conçoit aussi des protocoles pour le public scolaire de la maternelle au lycée (Conversy, Dozières et Turpin, 2019). Ce dispositif propose aux enseignants de réaliser, avec leurs élèves, des suivis de la biodiversité dite « ordinaire » (ex : moineau domestique, pâquerette vivace, etc.). À ce jour, dix observatoires accompagnés de protocoles standardisés permettent d'étudier des groupes taxonomiques variés (insectes pollinisateurs, oiseaux, flore urbaine…). Ces espèces communes ont une large répartition spatiale et peuvent donc vivre sous des climats variés ; cette tolérance les rends moins sensibles que d'autres aux effets du changement climatique. Par contre, elles permettent de détecter les effets proximaux (urbanisation et pollution).

Vigie-Nature École : un « outil » pour engager un raisonnement socio-scientifique ?

Certains chercheurs identifient que l'un des enjeux de l'enseignement scientifique, particulièrement en lien avec des changements globaux, est de contribuer à l'émergence d'une « intelligence » citoyenne capable de s'approprier les données scientifiques de façon critique (Girault et Sauvé, 2008 ; Hodson, 2003). Le lien entre biodiversité et citoyenneté renvoie à l'éco-citoyenneté, laquelle s'inscrit dans la construction d'une opinion raisonnée (Lange et Victor, 2006) tout en développant la capacité des élèves à agir (De Vecchi et Pellegrino, 2008). Intermédiaire entre les préjugés des élèves, des valeurs, et les connaissances scientifiques, l'opinion raisonnée (Lange et al., 2007; Lange et Victor, 2006) vise une perspective critique qui permet d'outiller intellectuellement les élèves pour qu'ils puissent comprendre et agir contre les causes anthropiques de la perte de la biodiversité. Ainsi, construire une éco-citoyenneté effective n'a pas pour objectif de proposer une solution unique ni même une méthode toute faite, mais plutôt l'élaboration de solutions non connues à l'avance. Sadler et al. (2007) soulignent que la contribution de l'enseignement scientifique

[27] https://www.vigienature.fr/fr/page/produire-des-indicateurs-partir-des-indices-des-especes-habitat

à la construction d'une citoyenneté est nécessaire mais néanmoins complexe à mettre en place concrètement.

Dans ce contexte, l'éducation à la biodiversité a pour objectif d'amener les élèves à faire des choix en utilisant des savoirs scientifiques et mais aussi en s'appuyant sur leurs valeurs pour prendre des décisions argumentées en développant des compétences socio-scientifiques et éthiques (Sauvé, 2014) autour de trois axes majeurs (Diemer et Marquat, 2015 ; Lebeaume, 2012) :

- l'empowerment qui doit permettre aux élèves de prendre le pouvoir sur leurs actions (dans le cas de la biodiversité, il pourrait s'agir de mettre les élèves en capacité d'agir pour favoriser la biodiversité, par exemple à l'échelle de leur établissement),
- la responsabilité : les élèves doivent pouvoir effectuer des choix en toute conscience et en prenant en compte à la fois l'individu et le collectif (ex : aménager les espaces verts d'un établissement en tenant compte de tous les usages qui en sont fait),
- l'engagement qui correspond à la volonté de transformer la société par des actions à l'échelle locale ou plus globale (ex : adhérer à des associations de protection de la nature).

Pour les concepteurs de VNE, ce dispositif peut contribuer à développer une expertise écocitoyenne en s'appuyant sur les données collectées. Ainsi lors de la mise en œuvre des protocoles, les élèves réalisent des inventaires ponctuels, quantifient l'état des populations animales et/ou végétales de leur environnement et apprennent que les données collectées peuvent être biaisées (petit échantillon, faible couverture temporelle et / ou spatiale dans l'échantillonnage…). VNE initie ainsi une approche scientifico-critique (Voisin et Lhoste, 2015) dans une visée à la fois émancipatrice et délibérative, pour construire collectivement des réponses de protection de la biodiversité, en fonction des contraintes locales et des enjeux écologiques, économiques, et sociaux (Sauvé, 2014). Autrement dit, former les élèves à une éco-citoyenneté en matière de biodiversité, doit tendre vers la prise en charge collective et éclairée de sa protection face à la menace du changement climatique, de l'urbanisation, des pollutions, etc.

Les réponses apportées mobilisent un raisonnement socio-scientifique (RSS) (Sadler et al., 2007 ; Simonneaux et Simonneaux, 2009) qui constitue alors un levier cognitif majeur pour identifier les risques, les incertitudes et opérer des choix d'aménagements raisonnés, dans

l'établissement ou à proximité, censés favoriser la biodiversité. En effet, selon Sadler et al (2007), le RSS prend en compte quatre dimensions :

- la complexité : par exemple, comprendre que la perte de la biodiversité est d'origine multifactorielle et qu'il n'existe pas de réponse unique à sa protection,
- la prise en compte des différents points de vue : par exemple, autour de ce double enjeux perte/protection (écologique, économique, socio-culturel, etc.)
- la nécessité de recourir à des apports complémentaires : par exemple, sur le plan scientifique, social et économique pour avoir une vision globale des enjeux
- faire preuve de vigilance, voire de scepticisme : par exemple, analyse critique des informations recueillies qui peuvent être biaisées.

Problématique

Dans ce chapitre, nous interrogeons l'apport de VNE comme « outil » de sciences citoyennes dans la construction d'un raisonnement socio-scientifique mobilisant les observations réalisées par les élèves sur le terrain et leur mise en relation avec d'autres savoirs, en vue de développer une opinion raisonnée conduisant à une prise de décision argumentée de préservation de la biodiversité.

En effet, lors de la mise en œuvre des protocoles de VNE, les élèves découvrent une biodiversité souvent méconnue au sein même de leur établissement. Aussi ces observations protocolées pourraient accroître leur intérêt pour la biodiversité, et pour les investigations scientifiques dont elle pourrait faire l'objet (Cosquer et al., 2012). Outre ces aspects de découverte et d'évaluation des espèces, VNE offre la possibilité d'amener les élèves à s'interroger sur les causes possibles de la perte de la biodiversité locale, et de proposer des actions susceptibles de la favoriser.

Plusieurs questions de recherche ont ainsi guidé notre étude :

- quelles dimensions du raisonnement socio-scientifique sont mobilisées par les élèves (Sadler et al., 2007) pour prendre en compte ou pas la protection de la biodiversité ?
- quelles décisions les élèves prennent-il pour agir en faveur de la protection de la biodiversité en contexte d'une situation-problème ?
- les élèves ayant mis en place le protocole Oiseaux des jardins développent-ils les mêmes arguments que sont qui ne l'ont pas fait ?

Nous faisons l'hypothèse que les élèves impliqués dans un protocole VNE développent une approche socio-scientifique critique de la protection de la biodiversité comparé à ceux ayant participé un cours sur la biodiversité.

Méthodologie : recueil et analyse des données

Pour examiner l'apport de VNE dans la construction d'un raisonnement socio-scientifique, nous nous appuyons sur une comparaison de deux classes de Seconde d'un lycée de proche banlieue parisienne, prises en charge par un même enseignant afin de limiter l'effet maître.

L'une des classes a mis en œuvre, à deux reprises, le protocole « Oiseaux des jardins » de VNE. Pour l'enseignant, l'intégration d'un protocole de sciences participatives visait à faire découvrir la biodiversité de l'établissement tout en amenant les élèves à réfléchir aux actions qu'il est possible de mener pour préserver la biodiversité urbaine ; ce dernier aspect ayant été finalement peu traité du fait de fermeture de classes pendant la pandémie de Covid-19. La seconde classe a bénéficié d'un cours d'une durée similaire centré sur la réalisation d'exposés sur la biodiversité (les élèves ayant tous travaillé sur des zones géographiques lointaines correspondant à une biodiversité « exotique »). Les deux séances sont donc similaires en termes de durée et d'objectifs notionnels mais reposent sur deux modalités différentes : l'une vise à proposer une découverte active de la biodiversité locale quand l'autre s'appuie sur des exemples lointains et moins concrets pour les élèves.

Le protocole « Oiseaux des jardins », mis en place par la classe participant à VNE, vise à répertorier les différentes espèces (diversité) présentes dans l'espace observé et à évaluer le nombre d'oiseaux par espèce (abondance) fréquentant un espace bien délimité[28].

[28] https://www.vigienature-ecole.fr/oiseaux

Figure n°1: Les cinq grandes étapes du protocole oiseaux des jardins

À l'issue de ces observations, nous avons proposé aux deux classes une même mise en situation reposant sur un dossier fictif dans lequel une mairie demandait aux membres du conseil municipal d'évaluer d'une part la pertinence de construire un nouveau cinéma et d'autre part de choisir le lieu d'implantation parmi deux sites possibles, une prairie ou une lisière de forêt. Cette mise en situation s'inscrivait dans une visée d'EEDD en lien avec les menaces qui pèsent sur la biodiversité. Le choix du cinéma était motivé par l'attractivité de ce loisir chez les adolescents, et le choix des deux sites par leur richesse écologique.

Pour aider les élèves à faire un choix, le dossier mis à leur disposition était structuré autour de trois types d'arguments : les conséquences pour la population et pour l'environnement et l'intégration du bâtiment dans l'environnement. Au sein de chacune de ces catégories, plusieurs éléments étaient présents et susceptibles d'être retenus comme argument par les élèves. Par exemple, pour la rubrique « avantages et inconvénients pour la population », trois types d'arguments étaient proposés : l'accessibilité du site (transports…), le coût d'achat du terrain et de la construction et enfin l'utilisation actuelle du terrain par les citoyens. Les élèves pouvaient ainsi mobiliser les informations contenues dans le dossier, leurs savoirs mais également leurs valeurs afin d'argumenter leur choix.

Un troisième dossier, permettant d'évaluer les avantages et inconvénients de la rénovation de l'ancien cinéma, était également disponible uniquement pour les élèves qui en avaient l'idée et en faisaient la demande.

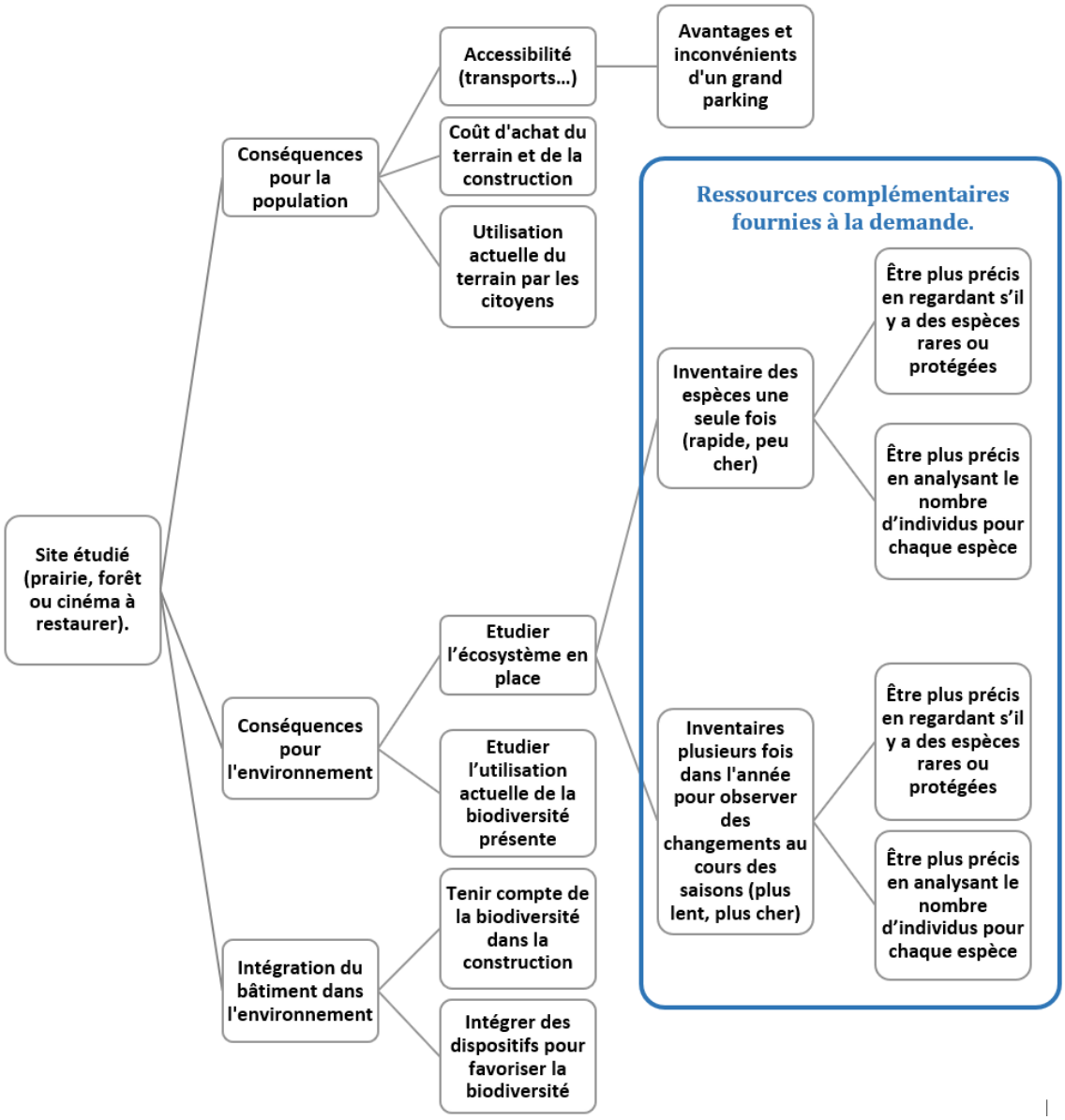


Figure n°2 : Carte mentale des différentes thématiques abordées dans le dossier

Les élèves travaillaient en groupes de 4 ou 5 élèves pendant 30 minutes (5 groupes pour la classe VNE et 4 groupes - dont un dont l'enregistrement était inaudible – pour l'autre classe). Les échanges entre élèves ont été enregistrés puis analysés.

Pour caractériser chacune des quatre dimensions du raisonnement socio-scientifique des élèves, nous nous sommes appuyés sur la méthodologie mise en place par Sadler et ses collègues (2007). Ces auteurs ont conçu une échelle à quatre niveaux (niveau 1 : pratique simpliste, niveau 4 : pratique sophistiquée – voir figure 3) pour analyser les arguments des élèves du point de vue de la pratique du raisonnement scientifique (complexité du

raisonnement, prise en compte de diverses perspectives, dimension d'enquête et scepticisme).

Nous avons adapté au contexte de notre recherche les échelles proposées par Sadler (Ibid.) en une grille d'analyse des échanges entre élèves. Par exemple, concernant la dimension d'enquête, nous avons choisi cette hiérarchisation :

- **Niveau 1 :** Les élèves n'ont pas estimé avoir besoin d'informations complémentaires
- **Niveau 2 :** Les élèves auraient aimé avoir des informations supplémentaires mais sans être capable de dire précisément lesquelles
- **Niveau 3 :** Les élèves ont demandé un type d'informations supplémentaires, il pouvait s'agir d'une fiche sur des résultats d'inventaires, une évaluation des espèces rares ou protégées pouvant être impactées par la construction ou bien des informations sur la restauration du cinéma existant.
- **Niveau 4 :** Les élèves ont demandé plusieurs types d'informations supplémentaires

Nous avons procédé de la même manière pour les quatre dimensions pour aboutir au tableau qui suit :

Dimension	Niveau	
Complexité : difficultés de faire un choix entre prairie et forêt	**1**	Solutions très simplistes ou « illogiques »
	2	Les élèves ont réfléchi aux avantages et inconvénients d'une solution mais proposent finalement un choix issu sans vraiment exploiter les ressources à leur disposition
	3	Les élèves ont perçu la complexité générale de la situation et proposent une solution mais n'ont pas conscience des limites de ce choix
	4	Les élèves ont perçu la complexité générale de la situation et proposent une solution tout en ayant conscience des limites de ce choix
Diverses perspectives : Dans un souci de durée d'activité, nous nous sommes limités à fournir des ressources centrées sur des aspects économiques, pratiques pour la population et environnementaux	**1**	Les élèves survolent les arguments sans vraiment les exploiter
	2	Les élèves ne prennent en compte qu'un seul type d'arguments (économique, pratique ou environnemental)
	3	Les élèves ne prennent en compte que deux types d'arguments (économique, pratique ou environnemental)
	4	Les élèves ne prennent en compte les trois types d'arguments (économique, pratique ou environnemental)
Dimension d'enquête : Demander des infos supplémentaires sur les espèces présentes, les espèces protégées et/ou sur la rénovation	**1**	Les élèves n'ont pas estimé avoir besoin d'informations complémentaires
	2	Les élèves auraient aimé avoir des informations supplémentaires mais sans être capable de dire précisément lesquelles
	3	Les élèves ont demandé un type d'informations supplémentaires
	4	Les élèves ont demandé plusieurs types d'informations supplémentaires
Scepticisme	**1**	Les élèves acceptent les ressources fournies
	2	Les élèves questionnent la pertinence d'un élément dans les ressources (aspects économiques, liés aux inventaires biologiques…)
	3	Les élèves questionnent la pertinence d'éléments dans les ressources de manière pertinente
	4	Les élèves savent reconnaitre les signes qui montrent qu'une ressource n'est pas fiable ou qu'elle n'aborde pas tous les aspects d'un problème.

Figure n°3: Grille d'analyse des différentes dimensions du raisonnement socio-scientifique des élèves

Lors des échanges, lorsqu'un élève exprimait un choix (forêt, prairie ou autre solution), nous appliquions notre grille d'analyse (voir figure 3) en étudiant l'ensemble des arguments cités au sein du groupe.

Ci-dessous figure un extrait du début des échanges entre élèves (à gauche) accompagné d'éléments pour qualifier le type d'arguments utilisés par les élèves (à droite) :

E1 : Dans une forêt c'est plus compliqué de construire un cinéma, tu sais pourquoi ? car ils vont **couper des arbres** E3 : Ils ne vont pas **couper tous les arbres** ! E1 : Si ! C'est écrit "ça nécessitera de couper des arbres" pas tout mais E3 : **une grosse partie** E1 : Oui voilà !	Arguments centrés sur des préoccupations liées à **l'environnement**
E3 : et puis **ça coûte cher, regarde 1 200 000 €** et pour la prairie ? E1 : Je vais écrire les impacts négatifs sur le brouillon E3 : Marque un côté positif et un côté négatif E3 : tiens regarde c'est la prairie E2 : **La prairie c'est 1,5 million €** E1 : c'est **le prix** de quoi ça ? E3 : pour construire le cinéma dans la prairie E1 : et dans la forêt ? E2 : **1,2 millions d'euros**	Arguments centrés sur des préoccupations d'ordre **économique**
E1 : Vous avez trouvé les impacts sur la prairie ? E3 : Attends, dans la forêt, **il y a des étangs avec des animaux dedans, des carpes... Il y a aussi des sangliers, beaucoup d'animaux** E3 : Dans la prairie, Il y a une rivière... **Beaucoup d'animaux aussi... Des espèces aquatiques**	Nouveaux arguments centrés sur des préoccupations liées à
E2 : **ce serait mieux de garder la forêt**, enfin je ne sais pas...	Emergence d'un **premier choix**

Ainsi cet extrait s'organise autour de quatre types d'arguments :

- **Environnement** : Construire dans la forêt nécessite de couper des arbres
- **Économique** : Comparaison des prix des constructions
- **Environnement** : Comparaison des espèces présentes
- **Choix** : Préserver la forêt

Dans cet extrait, un élève exprime un choix (provisoire) de préserver la forêt. Dans un premier temps, les élèves sont restés sur des considérations élémentaires : ils en sont donc au niveau 1 pour la « complexité », au niveau 2 en termes de « perspectives » (puisqu'ils ont traité d'arguments économiques et environnementaux), au niveau 1 pour la dimension « d'enquête » (les élèves n'ont pas encore estimé avoir besoin d'informations complémentaires) et enfin les élèves n'ont émis aucun doute sur les ressources proposées (niveau 1 pour le « scepticisme »).

Enfin, il convient de préciser que pendant toute la durée des échanges, l'enseignant n'est intervenu que ponctuellement pour expliciter des éléments du dossier qui étaient pas compris pas les élèves.

Résultats

Cette démarche nous a permis de suivre l'évolution du raisonnement socio-scientifique des élèves au cours des échanges et de comparer le niveau de raisonnement mobilisé entre les groupes. Nous ne présenterons ici une comparaison des niveaux de raisonnement socio-scientifique lors des premières minutes d'échanges puis après 30 minutes.

Dans la quasi-totalité des groupes, les élèves expriment un premier choix très rapidement (après avoir échangé quelques arguments seulement). Pour l'ensemble de notre corpus, les niveaux de raisonnement socio-scientifique mobilisés pour chacune des quatre dimensions lors d'un premier choix dans chaque groupe sont résumés dans ce tableau :

		Niveau RSS initial			
		Complexité	**Perspectives**	**Enquête**	**Scepticisme**
Classe sans VNE	Groupe 1	1	1	1	1
	Groupe 2	1	1	1	1
	Groupe 3	2	4	2	1
	Moyenne	**1,3**	**2**	**1,3**	**1,0**
Classe avec VNE	Groupe 4	1	3	1	1
	Groupe 5	1	3	1	1
	Groupe 6	2	3	1	2
	Groupe 7	1	1	1	1
	Groupe 8	1	1	1	2
	Moyenne	**1,2**	**2,2**	**1**	**1,4**

Figure n°4: Comparaison des quatre dimensions du raisonnement socio-scientifique mobilisées au début des échanges par les deux classes.

Après quelques minutes d'échanges, les premiers choix des élèves se sont appuyés sur des arguments simplistes, ils en sont en moyenne au niveau 1 pour l'aspect complexité (le choix exprimé est issu d'une analyse très rapide des ressources, sans mise en relation, les élèves proposent donc des solutions simplistes), au niveau 2 en terme de perspectives (ils n'ont généralement abordés que deux types d'arguments), au premier stade pour la dimension d'enquêtes (les élèves n'ont pas estimé avoir besoin d'informations complémentaires) et enfin les élèves n'ont émis aucun doute sur les ressources proposées (niveau 1 pour l'aspect scepticisme). Ainsi, les deux classes présentent, au début des échanges, des niveaux de raisonnement socio-scientifique similaires et manipulent les mêmes types d'arguments.

Si nous nous focalisons maintenant sur les derniers échanges des élèves (après 25 minutes d'échanges environ), dans les deux classes, le niveau du raisonnement socio-scientifique mobilisé par les élèves a évolué ; des différences entre les deux classes sont apparues.

		Niveau RSS final			
		Complexité	**Perspectives**	**Enquête**	**Scepticisme**
Classe sans VNE	Groupe 1	1	3	2	2
	Groupe 2	2	4	3	2
	Groupe 3	2	4	2	1
	Moyenne	**1,7**	**3,7**	**2,3**	**1,7**
Classe avec VNE	Groupe 4	3	4	4	2
	Groupe 5	2	3	3	1
	Groupe 6	2	3	4	3
	Groupe 7	3	4	3	2
	Groupe 8	2	4	4	2
	Moyenne	**2,4**	**3,6**	**3,6**	**2**

Figure n°5: Comparaison des quatre dimensions du raisonnement socio-scientifique mobilisées en fin d'échanges par les deux classes.

Au vu de notre faible échantillon, nous nous sommes concentrés uniquement sur des différences de moyenne entre les deux classes jugées importantes (plus de 10% d'écart soit 0,5 points d'écart sur la moyenne).

La première différence réside dans la dimension d'enquête, les élèves ayant participé au protocole « Oiseaux des jardins » atteignent un niveau 4, le plus élevé. Tous les groupes de cette classe ont demandé des informations supplémentaires : résultats d'inventaires répétés toute l'année afin « d'être certain de voir toutes les espèces » (groupe 5) sans tenir compte du surcoût financier que cela représentait, liste des espèces protégées... Pendant la séquence d'enseignement, les élèves ayant mis en place le protocole « Oiseaux des jardins » ont

abordé la notion d'inventaire et en ont mis un en place à deux reprises. Lors de ces deux sorties de terrain, les élèves n'ont pas observé les mêmes espèces et ont discuté de l'intérêt de répéter les observations pour mieux connaître le peuplement d'un milieu. Fort de ces expériences, nous pouvons émettre l'hypothèse qu'ils ont mieux cerné l'intérêt socio-scientifique de ces inventaires pour quantifier précisément la biodiversité et qu'ils ont réemployé ces connaissances pour asseoir leur décision.

La seconde différence significative se trouve dans la dimension de complexité : les élèves ayant participé au protocole VNE se questionnent davantage et adoptent une démarche d'enquête en intégrant la protection de la biodiversité à la responsabilité des acteurs. La majorité perçoit ainsi la complexité des choix qui s'offrent à eux. Ils ciblent mieux les informations qui les intéressent et prennent en compte des points de vue multiples pour étayer leur décision. Ce niveau 4 de « complexité » dans les échanges est probablement en lien avec la dimension d'« enquête ». En demandant des informations supplémentaires, les élèves se questionnent davantage et plus précisément, ce qui les amène à prendre en compte des points de vue multiples et peut les aider à percevoir la complexité de la situation.

Le troisième résultat est plus surprenant : dans les deux classes, une majorité d'élèves a fait un choix alternatif à celui qui leur était proposé : rénover l'ancien cinéma. Ce faisant, les élèves s'écartent des solutions suggérées dans le dossier fourni et cherchent une solution différente mais constructive. Le scepticisme exprimé n'est alors pas un simple rejet des informations disponibles dans le dossier proposé mais plutôt l'expression d'une capacité à percevoir les limites de la mise en situation et la possibilité de faire un choix alternatif (d'où un niveau 4 de « scepticisme » en fin d'échanges). L'argument qui semblait alors faire consensus était de ne toucher ni à la forêt ni à la prairie pour protéger la biodiversité. Le coût économique de la construction n'était pas jugé comme prioritaire. Ceci semble indiquer que les élèves des deux classes sont, *a priori*, sensibles aux enjeux environnementaux.

Conclusion, limites et perspectives à cette recherche

Nos résultats montrent que l'étape d'observation sur le terrain, via les protocoles VNE, semble être formatrice pour engager les élèves à développer un raisonnement socio-scientifique concernant la protection de la biodiversité dans le cadre d'une EEDD. Cette première approche du raisonnement socio-scientifique en lien avec VNE confirme que les élèves peuvent appréhender la complexité d'une situation, avoir recours à des informations scientifiques complémentaires et confronter différents points de vue. Il convient cependant

de garder en tête que notre étude n'a pas réellement permis de tester le dispositif VNE, mais plutôt l'impact de sorties de terrain centrées sur la notion d'inventaires autour d'une posture naturaliste. Dans la séquence intégrant le dispositif VNE, les élèves ont observé sur le terrain les oiseaux et devaient réfléchir et mettre en place des actions concrètes pour favoriser leur protection. L'épidémie de Covid-19 et les fermetures de classes n'ont pas permis d'aller jusqu'au bout de la démarche, les élèves en sont restés à réfléchir sur ce qui pourrait être fait pour les protéger. Il aurait été intéressant de savoir si des réalisations concrètes, comme l'installation de nichoirs ou de mangeoires, auraient modifié le raisonnement socio-scientifique des élèves. Par ailleurs, un nombre de classes plus important, nous permettrait d'évaluer plus finement l'impact de la participation à VNE sur le raisonnement socio-scientifique des élèves. En effet, notre étude porte sur la comparaison des moyennes de deux échantillons de faible taille. Nous avons donc fait le choix de nous concentrer que sur les écarts les plus importants ne traitant pas les dimensions avec de faibles écarts (scepticisme et perspectives) perdant ainsi en finesse d'analyse.

Nous avons également estimé que « l'effet-maître » (Bressoux, 2001) était limité ; néanmoins, des travaux supplémentaires permettraient de le vérifier et valider ces résultats (de Hosson et Orange, 2019).

Enfin, le dossier que nous proposions aux élèves dans cette première phase exploratoire de la recherche pourrait être amélioré. Nous n'y abordions que trois composantes qu'il conviendrait d'élargir, par exemple, en intégrant la relation des élèves à la nature (bien-être, esthétisme etc.). En outre, le dossier proposait volontairement des données qui n'induisait pas de choix de site évident (il n'y avait par exemple pas de différence significative sur les impacts environnementaux). Nous pouvons nous demander si la construction de notre dossier a influencé l'adoption de la solution alternative de rénovation du cinéma qui permettait de sauvegarder à la fois la forêt et la prairie.

Dans le contexte actuel de crise environnementale, des experts prônent d'importants changements dans nos modes de vie et dans notre relation au monde (IPBES, 2019). Il y a donc un enjeu de formation des élèves à l'éco-citoyenneté. Un dispositif comme Vigie-Nature École nous semble, justement, entrer dans le cadre d'une éducation éco-citoyenne notamment par la possibilité de mener des actions en faveur de la biodiversité. Cependant cet objectif n'a été que partiellement atteint dans la séquence observée.

La biodiversité est un thème qui relève de la complexité au sens d'Edgar Morin[29], c'est-à-dire qu'elle relève de savoirs pluridisciplinaires à confronter. Les situations complexes ont la particularité de ne pas offrir de solution simple mais plutôt des solutions reposant souvent sur la collaboration, la confrontation et la négociation. Pour qu'un dispositif, tel que « Vigie-Nature École », devienne un programme de sciences citoyennes à visée démocratique, il ne doit pas être uniquement vertical (du laboratoire à l'école), mais également horizontal en s'appuyant davantage sur l'agentivité (Simard et al., 2022) des élèves dans la prise de décision. Soutenir la capacité à réfléchir et à agir des élèves, via le RSS, est un des moyens pour mener les transformations sociétales nécessaires face à la crise environnementale que nous connaissons (IBES, 2019 ; Shukla et al., 2022).

Remerciements

Le Projet européen REGREEN Nature-based solutions (regreen-project.eu/) a permis ce travail. Ce projet est financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne, sous le numéro d'agrément 821016, ainsi que par le programme de coopération scientifique et d'innovation technologique intergouvernemental de Chine (projet n°2021YFE93100).

The EC REGREEN Nature-based Solutions project (regreen-project.eu/) enabled our collaboration (ou "ce projet"). This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 821016, and the National Key R&D Program Intergovernmental Cooperation in International Science and Technology Innovation from Ministry of Science and Technology of China (Grant n°2021YFE93100)

Bibliographie

Ayotte-Beaudet, J.-P., Potvin, P., Lapierre, H. G., et Glackin, M. (2017). Teaching and Learning Science Outdoors in Schools' Immediate Surroundings at K-12 Levels : A

[29] https://www.youtube.com/watch?v=6UT57Jm371w&t=76s (consulté le 10/01/2023)

Meta-Synthesis. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *13*(8), 5343-5363. https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00833a

Bonney, R., Ballard, H., Jordan, R., McCallie, E., Phillips, T., Shirk, J., et Wilderman, C. C. (2009). Public Participation in Scientific Research : Defining the Field and Assessing Its Potential for Informal Science Education. A CAISE Inquiry Group Report. Center for Advancement of Infromal Science Education (CAISE).

Bressoux, P. (2001). Réflexions sur l'effet-maître et l'étude des pratiques enseignantes. *Les dossiers des sciences de l'éducation, 5*(1), 35-52.

Broom, C. (2017). Exploring the relations between childhood experiences in nature and young adults' environmental attitudes and behaviours. *Australian Journal of Environmental Education*, *33*(1), 34-47.

Chawla, L. (2008). Participation and the ecology of environmental awareness and action. Springer.

Chawla, L., et Cushing, D. F. (2007). Education for strategic environmental behavior. *Environmental education research*, *13*(4), 437-452.

Chawla, L., et Derr, V. (2012). The Development of Conservation Behaviors in Childhood and Youth. In S. D. Clayton (Éd.), *The Oxford Handbook of Environmental and Conservation Psychology* (1re éd., p. 527-555). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199733026.013.0028

Chen, J., et Cowie, B. (2013). Engaging Primary Students in Learning about New Zealand Birds : A socially relevant context. *International Journal of Science Education*, *35*(8), 1344-1366. https://doi.org/10.1080/09500693.2012.763194

Conversy, P., Dozières, A., et Turpin, S. (2019). Du naturaliste expert à l'élève : Enjeux de la diversification des objectifs d'un programme de sciences participatives en France. *Éducation relative à l'environnement. Regards - Recherches - Réflexions*, *15*(1). http://journals.openedition.org/ere/4440

Cosquer, A., Raymond, R., et Prevot-Julliard, A.-C. (2012). Observations of Everyday Biodiversity : A New Perspective for Conservation? *Ecology and Society*, *17*(4). https://doi.org/10.5751/ES-04955-170402

Cowie, R. H., Bouchet, P., et Fontaine, B. (2022). The Sixth Mass Extinction : Fact, fiction or speculation? *Biological Reviews*, brv.12816. https://doi.org/10.1111/brv.12816

de Hosson, C., et Orange, C. (2019). Les résultats des recherches en didactique des sciences et des technologies: quelle validité et à quelles conditions ? *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (20), 9-26.

De Vecchi, G., et Pellegrino, J. (2008). *Eduquer au développement durable*. Delagrave.

Devictor, V., van Swaay, C., Brereton, T., Brotons, L., Chamberlain, D., Heliölä, J., Herrando, S., Julliard, R., Kuussaari, M., Lindström, Å., Reif, J., Roy, D. B., Schweiger, O., Settele, J., Stefanescu, C., Van Strien, A., Van Turnhout, C., Vermouzek, Z., WallisDeVries, M., … Jiguet, F. (2012). Differences in the climatic debts of birds and butterflies at a continental scale. *Nature Climate Change*, *2*(2), 121-124. https://doi.org/10.1038/nclimate1347

Diemer, A., et Marquat, C. (2015). Des «éducations à» à l'éducation au développement durable : Un changement en profondeur de l'enseignement? In *B. Marin et D. Berger (dir.), Recherches en éducation, recherches sur la professionnalisation : Consensus et dissensus* (p. 40-57). Réseau national des ESPE.

Fontaine, B., Bergerot, B., Le Viol, I., et Julliard, R. (2016). Impact of urbanization and gardening practices on common butterfly communities in France. *Ecology and Evolution*, *6*(22), 8174-8180. https://doi.org/10.1002/ece3.2526

Freire, P. (1974). « Conscientisation ». *CrossCurrents*, *24*(1), 23-31.

Girault, Y., et Sauvé, L. (2008). L'éducation scientifique, l'éducation à l'environnement et l'éducation pour le développement durable. Croisements, enjeux et mouvances. *Aster, 46*, 7-30. https://doi.org/10.4267/2042/20028

Haklay, M. (2013). Citizen science and volunteered geographic information : Overview and typology of participation. In *Crowdsourcing geographic knowledge* (p. 105-122). Springer.

Hodson, D. (2003). Time for action : Science education for an alternative future. *International Journal of Science Education, 25*(6), 645-670. https://doi.org/10.1080/09500690305021

Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES. (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services* (summary for policy makers). Zenodo. https://doi.org/10.5281/ZENODO.3553579

Irwin, A. (2015). Citizen science and scientific citizenship : Same words, different meanings. *Science Communication Today: Current Strategies and Means of Action, 2015*, 29-38.

Kelemen-Finan, J., Scheuch, M., et Winter, S. (2018). Contributions from citizen science to science education : An examination of a biodiversity citizen science project with schools in Central Europe. *International Journal of Science Education, 40*(17), 2078-2098. https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1520405

Lange, J.-M. (2015). Éducation et engagement : La participation de l'École à relever les défis environnementaux et de développement. *Éducation relative à l'environnement, 12*. https://doi.org/10.4000/ere.441

Lange, J.-M., Trouvé, A., et Victor, P. (2007). *Expression d'une opinion raisonnée dans les éducations à… : Quels indicateurs?* Colloque de l'Actualité de la recherche en éducation et en formation AECSE, Strasbourg.

Lange, J.-M., et Victor, P. (2006). Didactique curriculaire et «éducation à… la santé, l'environnement et au développement durable» : Quelles questions, quels repères? *Didaskalia, 28*, 85-100.

Lebeaume, J. (2012). Effervescence contemporaine des propositions d'éducations à… Regard rétrospectif pour le tournant curriculaire à venir. *Spirale. Revue de recherches en éducation, 50*(1), 11-24. https://doi.org/10.3406/spira.2012.1085

Martin, G., Devictor, V., Motard, E., Machon, N., et Porcher, E. (2019). Short-term climate-induced change in French plant communities. *Biology Letters, 15*(7). https://doi.org/10.1098/rsbl.2019.0280

Muratet, A., et Fontaine, B. (2015). Contrasting impacts of pesticides on butterflies and bumblebees in private gardens in France. *Biological Conservation, 182*, 148-154. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.11.045

Perron, S. (2021). Les projets de sciences citoyennes à l'École : Quelles pratiques d'enseignement ? *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, Forthcoming papers. https://doi.org/10.26220/REV.3572

Robert-Mazaye, C., Goulet, F., Turcotte, S., Demers, S., Belleau, É., et Barroca-Paccard, M. (2021). Comprendre les composantes de l'écocitoyenneté chez les enfants et les jeunes : Une réflexion théorique. *Tréma, 56*. https://doi.org/10.4000/trema.7020

Sadler, T. D., Barab, S. A., et Scott, B. (2007). What Do Students Gain by Engaging in Socioscientific Inquiry? *Research in Science Education, 37*(4), 371-391. https://doi.org/10.1007/s11165-006-9030-9

Sauvé, L. (2014). Au cœur des questions socio-écologiques : Des savoirs à construire, des compétences à développer. *Éducation relative à l'environnement, 11*. https://doi.org/10.4000/ere.662

Shukla, P. R., Skea, J., Slade, R., Al Khourdajie, A., van Diemen, R., McCollum, D., Pathak, M., Some, S., Vyas, P., Fradera, R., Belkacemi, M., Hasija, A., Lisboa, G., Luz, S., et Malley, J. (2022). *Climate Change 2022 : Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. doi: 10.1017/9781009157926.001

Simard, C., Fortin, C., Morin, E., et Turpin, S. (2022). La biodiversité : Quelques enjeux socio-éducatifs. In *Éduquer au vivant : Perspectives, recherches et pratiques* (p. 85-109). Presses de l'Université de Laval.

Simonneaux, L., et Simonneaux, J. (2009). Students' socio-scientific reasoning on controversies from the viewpoint of education for sustainable development. *Cultural Studies of Science Education*, *4*(3), 657-687. https://doi.org/10.1007/s11422-008-9141-x

Voisin, C., et Lhoste, Y. (2015). Légitimité des finalités éducatives poursuivies dans l'éducation à l'environnement et l'enseignement de la biodiversité à l'école : État des lieux et mise en question. *Les « Éducations à » : Un (des) levier(s) de transformation du système éducatif ?*, 454-469.

Éduquer au changement climatique par le design fiction : une expérimentation sur la problématique des déchets en école d'ingénieur·es

Hervé Nicolas [(1)], Huez Julitte [(2)]
[(1)] UMR EFTS, Ecole Nationale Supérieure de Formation de l'Enseignement Agricole – France
[(2)] UMR EFTS, INP-ENSIACET – France

Résumé

Intégrer l'éducation au changement climatique dans l'enseignement supérieur est une nécessité pour préparer les étudiant·es à un avenir incertain et préoccupant. Le secteur des déchets est un poste important de consommation de ressources naturelles et d'émission de gaz à effet de serre, c'est pourquoi il constitue un thème central dans la formation des élèves-ingenieur·es. Ce chapitre porte sur l'expérimentation d'un module de formation fondé sur le design fiction. Il vise à développer la pensée prospective des élèves-ingénieur·es en les faisant raisonner sur la thématique des déchets dans différents futurs climatiques et technologiques. L'analyse des productions écrites montre que le dispositif conduit à générer différents schémas techniques de valorisation des déchets qui sont conçus dans leur inscription sociale. Articuler les temporalités des processus technologiques et climatiques et appréhender le *low-tech* apparaissent comme deux opportunités de perfectionnement du dispositif.

La formation des ingénieur·es au changement climatique

Face aux conséquences du changement climatique, il est urgent d'agir pour construire un monde plus résilient et durable (GIEC, 2018). L'accord de Paris, entré en vigueur en Octobre 2016, engage ainsi les pays signataires à mettre en œuvre des politiques éducatives ambitieuses, en intégrant à tous les niveaux de formation des contenus d'éducation au changement climatique. Cette ambition rejoint celle de l'UNESCO portée par le *programme de développement durable à l'horizon 2030*, en particulier l'objectif 13 « Prendre d'urgence des mesures pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions ».

L'éducation au changement climatique (ECC) est considérée comme un moyen de développer des capacités d'action visant l'atténuation et l'adaptation à ce changement (Meira, 2019). Elle implique de préparer les élèves et étudiant·es à affronter un avenir en mutation rapide, incertain, et potentiellement risqué. Ainsi, l'ECC n'est pas seulement une éducation au fonctionnement du climat en tant que système complexe, elle est aussi une éducation au changement.

Pour autant, l'éducation au changement climatique n'a pas de contenu stabilisé, alors que les attentes sociétales sont fortes (Gibert, 2020 ; Orange et Orange Ravachol, 2017). En effet elle constitue une préoccupation qui émerge des diverses grèves lycéennes et étudiantes pour le climat, elle est un besoin exprimé par de nombreuses associations étudiantes comme *Ingénieurs engagés* ou *Together for Earth*.

Certains éléments apparaissent toutefois nécessaires à l'ECC (Léna, 2019) : la compréhension du système climatique, la littératie énergétique, l'actualisation de la nature de la science (en particulier à propos du fonctionnement du GIEC), l'étude de questions socialement vives (notamment pour aborder les dimensions politiques, éthiques ou prospectives des choix sociétaux à effectuer), ou encore la promotion d'une citoyenneté critique et transformative.

Des nouveaux contenus d'enseignement sont intégrés au fur et à mesure du renouvellement des curricula. C'est ainsi que le Conseil Supérieur des Programmes a été sollicité en décembre 2019 pour concevoir des parcours de formation de la maternelle au collège, et que les nouveaux programmes du lycée général en France accordent une place croissante aux problématiques climatiques.

Des initiatives se multiplient également dans l'enseignement supérieur français, comme la convention pour la transition des établissements du supérieur, le rapport « Mobiliser l'enseignement supérieur pour le climat » publié en 2019 par *The Shift Project*, les rentrées « fresque du climat », etc. Le rapport « Sensibiliser et former aux enjeux de la transition écologique et du développement durable dans l'enseignement supérieur », coordonné par Jean Jouzel en 2022, recommande en particulier d'intégrer des contenus d'enseignement transversaux à l'ensemble des parcours de formation.

Les métiers de l'ingénierie sont des supports majeurs de la transition écologique, car celle-ci suppose de revoir les modèles de conception, de production, d'utilisation et de fin de vie des objets manufacturés qui fondent les approches de ces métiers et les réseaux sociotechniques dans lesquels ils s'insèrent. La transition est donc également celle de ces métiers et des institutions de formation. Elle doit s'appuyer sur une approche intégrative et systémique pour relever le défi de la durabilité (Perpignan, 2021). C'est pourquoi l'ingénierie « classique » centrée sur une spécialisation technique évolue vers une ingénierie durable englobant des considérations sociales, économiques, environnementales, etc. (Kamp, 2016). La Commission des Titres d'Ingénieurs a ainsi renforcé ces éléments dans son référentiel d'accréditation, en pointant la visée de former les ingénieur·es « à accompagner les transitions, notamment numériques, énergétiques et environnementales, en intégrant les impératifs écologiques et climatiques » (CTI, 2022, p. 21).

Pour repenser la formation des ingénieur·es, des compétences essentielles en matière de durabilité sont alors mobilisées (UNESCO, 2018). Nous nous intéressons dans cette étude, à l'une de ces compétences-clés, la pensée prospective, définie comme la capacité à analyser, construire et débattre d'images du futur (Hervé, 2022). Nous nous sommes inspirés du design fiction pour concevoir un module de formation visant son développement.

Construire des images de différents futurs climatiques et technologiques avec le design fiction

Le design fiction est un courant des sciences de la conception qui utilise la mise en récit pour envisager et questionner les futurs possibles des sciences et des technologies. On doit à l'écrivain de science-fiction Bruce Sterling (un des pères du *cyberpunk*) d'avoir popularisé le terme « design fiction », il considère en effet que le design permet de *« créer des mondes »* en centrant l'acte de création sur les objets pensés dans des situations. Une caractéristique

du design fiction est d'explorer les futurs possibles proches (*near future*) de technologies, en réfléchissant de manière critique à leur utilisation potentielle dans la vie quotidienne et ordinaire, et en combinant les aspects techniques avec des dimensions sociales, culturelles, éthiques, politiques et économiques (Mitrovic et al., 2015 ; Tanenbaum, 2014). Il s'agit de créer conjointement des récits spéculatifs et des artefacts, dont la matérialisation a pour effet de questionner les normes et les perceptions de ce qui pourrait advenir dans un futur proche (Poynor, 2016).

Le design fiction fait référence à des pratiques diverses : « il peut prendre la forme d'un texte, d'une image, d'un son, d'une vidéo, d'un modèle, d'un prototype fonctionnel ou d'un événement » (Blythe et Encinas, 2016, p. 346) ; il peut conduire à la fabrication d'un objet plausible, dont les fonctions sont décrites de manière très précise, il peut au contraire être abstrait et s'attacher plutôt aux conséquences de son utilisation ; il est utilisé à des fins d'innovation technologique et commerciale dans les entreprises, il sert également à exprimer une critique sociale forte (Blythe et Encinas, 2016). Toutefois, Lindley et Coulton (2015) indiquent trois éléments nécessaires à toute démarche de design fiction :

- la conception d'un monde cohérent qui permet de générer des récits (*worldbuilding*) : un ancrage spatio-temporel, des attributs environnementaux, sociaux, culturels, politiques, économiques ;
- la production d'un artefact qui facilite un mécanisme d'immersion : des catalogues, des journaux, des manuels d'utilisation, des documentaires fictifs, des textes universitaires factices, etc.
- la création d'un espace discursif de mise en débat : la combinaison de la mise en récit et de la fabrication matérielle d'un artefact conduit à simuler les effets potentiels d'une technologie ou d'un service futur, mais surtout à ouvrir des espaces de discours sur les enjeux sociaux et éthiques de ces futurs. « Les fictions conçues aident à raconter des histoires qui provoquent et soulèvent des questions » (Bleeker, 2009, p. 8), elles permettent d'initier un débat sur les objets, les dispositifs et les mondes imaginés.

C'est en Angleterre que l'on trouve actuellement la réflexion la plus aboutie sur le design fiction dans un contexte de formation. En effet, les réformes curriculaires ont conduit à ce que l'enseignement de la technologie aux niveaux primaire et secondaire ne se concentre pas uniquement sur la fabrication, la modélisation et le fonctionnement des objets techniques, il

vise également à questionner leurs usages et leur déploiement social. Ainsi, le design fiction est considéré comme un moyen pédagogique qui permet aux enseignants d'aborder les technologies émergentes (l'impression 3D, l'IA, l'internet des objets, etc.) sous l'angle de leurs interactions avec l'individu et la société, en engageant un large éventail d'émotions, de raisonnements et de réflexions chez les élèves (Spiller, 2013). C'est un dispositif également expérimenté pour enseigner l'éthique dans certaines formations scientifiques universitaires américaines (York et Conlay, 2020).

C'est pourquoi le design fiction nous semble pouvoir constituer une stratégie pédagogique intéressante pour engager une démarche de problématisation des élèves-ingénieur·es à l'interface des futurs possibles, des technologies et du climat.

C'est un dispositif de formation inspiré du design fiction que nous présentons par la suite à propos de l'enseignement de la valorisation des déchets en école d'ingénieur·es.

Les déchets : une thématique centrale pour les ingénieur·es

C'est parce que la problématique des déchets se situe à la croisée des enjeux techniques d'ingénierie, des enjeux climatiques, et de questionnements sur les modes de vie qu'elle constitue une thématique d'enseignement propice à un travail sur la pensée prospective avec les élèves-ingénieur·es.

En effet, le secteur des déchets constitue sur l'ensemble des étapes du cycle de vie d'un procédé ou d'un produit, un poste important de consommation de ressources naturelles et d'émissions de gaz à effet de serre (GES). La question de l'impact environnemental des déchets est reconnue comme centrale. Le rapport annuel du Haut Conseil pour le Climat (2021) attribue au poste des déchets environ 4% des émissions territoriales de GES en France. Ces émissions, composées majoritairement de méthane, sont dues en particulier au stockage des déchets dans les décharges (83% des émissions françaises en 2019 selon HCC, 2021). L'accumulation continue de déchets est de plus le point de départ de problèmes environnementaux, comme la contamination de l'air, des sols ou des eaux, elle a des effets délétères sur la biodiversité et la santé humaine.

Dans ce mode de calcul des émissions, seule la fin de vie des objets ou des procédés est considérée. Or une perspective différente est d'appréhender les déchets sous l'angle des biens d'équipement et de consommation dont la possession est promue dans une société d'abondance et de consommation. L'expression de « face cachée des biens de

consommation » est employée par l'ADEME (2018) pour rendre compte de leur importance dans les émissions nationales de GES, estimée à 25% du total. Parce que la production des biens pèse lourd dans leur bilan environnemental, il s'agit de prendre en compte dans l'acte de conception technique les futurs usages et les potentiels déchets engendrés. Une réponse adéquate est non seulement de penser le cycle de vie des objets, l'économie circulaire, mais aussi d'intégrer les perspectives technologiques à des innovations sociales et territoriales (Durand, 2015).

Ainsi, prévenir leur production en amont et mettre en place leur valorisation en aval sont considérés comme des leviers d'atténuation du changement climatique. Dans ce contexte, l'étude des déchets est un enjeu de formation important pour les élèves-ingénieur·es, car si les procédés de transformation de la matière produisent des déchets, ils peuvent également en faire une ressource contribuant à la « mine urbaine » (Geldron, 2016). Il s'agit alors pour les élèves-ingénieur·es de pouvoir problématiser l'intégration de ces procédés dans des réseaux sociotechniques qui évoluent en fonction du changement climatique et des politiques d'adaptation et d'atténuation mises en place.

Question de recherche et méthodologie

Nous nous interrogeons sur la nature des images du futur que les élèves-ingénieur·es construisent dans un dispositif de design fiction, et sur la manière dont ils y problématisent les déchets. C'est pourquoi nous présentons d'abord les caractéristiques du module de formation inspiré du design fiction que nous avons expérimenté, puis dans un deuxième temps le type de matériaux recueillis et les outils de leur analyse.

Une expérimentation de design fiction en école d'ingénieur·es

Nous avons conçu un module de formation, composé de quatre séances d'1h20, que nous avons expérimenté à l'École nationale supérieure des ingénieur·es en arts chimiques et technologiques de Toulouse. Ce module aborde la problématique des déchets à partir d'un travail de design fiction.

Pour construire différents futurs dans lesquels les élèves-ingénieur·es vont se projeter (étape de *world building*), nous avons mobilisé la technique de « la matrice 2x2 » qui consiste à croiser deux variables à fort impact et forte incertitude pour générer des scénarios du futur contrastés (Rhydderch 2017).

Afin de travailler les enjeux climatiques et technologiques, les deux variables choisies sont :

- l'intensité et l'efficacité des politiques d'adaptation et d'atténuation mises en place (*intensité forte – transition choisie vs intensité faible – transition subie*) ;
- le type de régime sociotechnique dominant (*low-tech vs high-tech*).

Les quatre cadrans de la matrice 2x2 permettent ainsi de produire quatre images de différents futurs à partir des mêmes variables (figure 1).

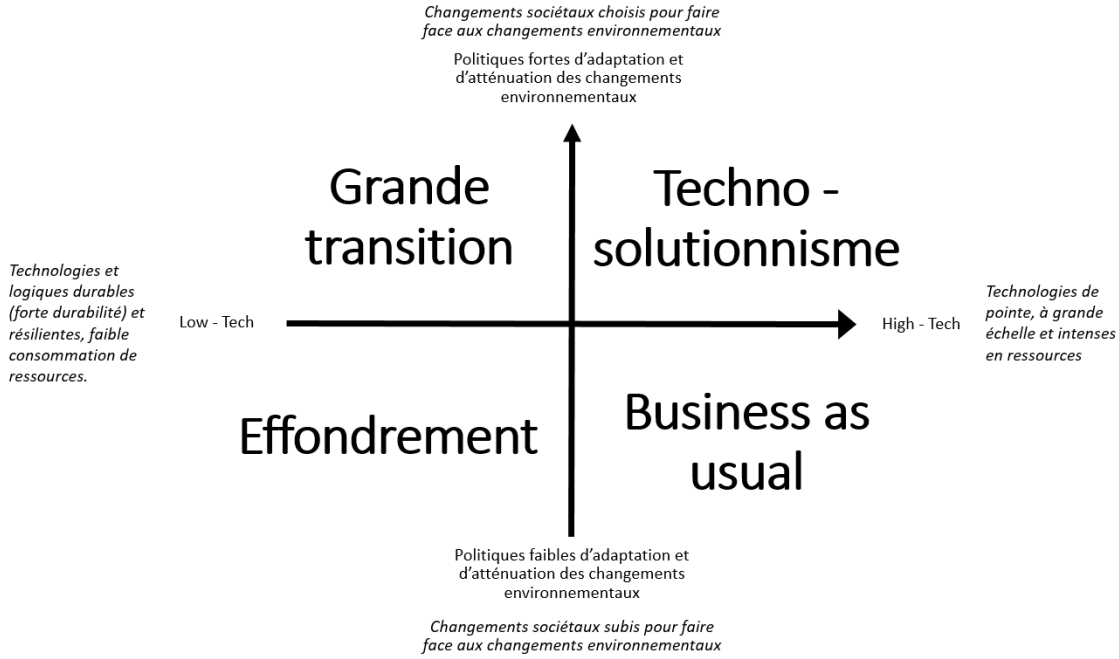


Figure n°1 : Matrice 2x2 permettant de construire quatre images du futur contrastées

Nous avons nommé ces quatre futurs :

- le futur « *business as usual* » est un futur qui poursuit les tendances présentes. Des problèmes déjà présents continuent d'opérer et s'amplifient ; le rapport à la technique est majoritairement du type *high-tech*.
- Le futur « *effondrement* » est un futur dans lequel les besoins fondamentaux (alimentation, sécurité, énergie, etc.) ne sont plus assurés par des services publics (ou alors difficilement).
- Le futur « *techno-solutionnisme* » repose sur l'hypothèse que le développement scientifique et technologique propose des solutions aux problèmes actuels (par exemple sous la forme de géo-ingénierie).

- Le futur « *grande transition* » est un futur dans lequel les modes de vie se sont transformés, avec de nouveaux agencements sociaux et politiques et un rapport renouvelé à la technique.

Dans la première séance, les élèves-ingénieur·es se répartissent en groupes. Chaque groupe choisit un des quatre futurs et doit construire l'image de ce monde en 2050 (figure 2).

Dans la séance 2, la thématique des déchets est imposée. Les élèves-ingénieur·es ont à imaginer dans leur monde futur une pratique sociale en lien avec les déchets, qu'ils doivent ensuite préciser en décrivant une situation de vie quotidienne (personnelle ou professionnelle). Le récit écrit de cette situation constitue la production de la séance 3. Dans la séance 4, les élèves-ingénieur·es conçoivent un objet représentatif de la situation décrite. Cette séance se conclut par une discussion sur les déchets et les futurs possibles.

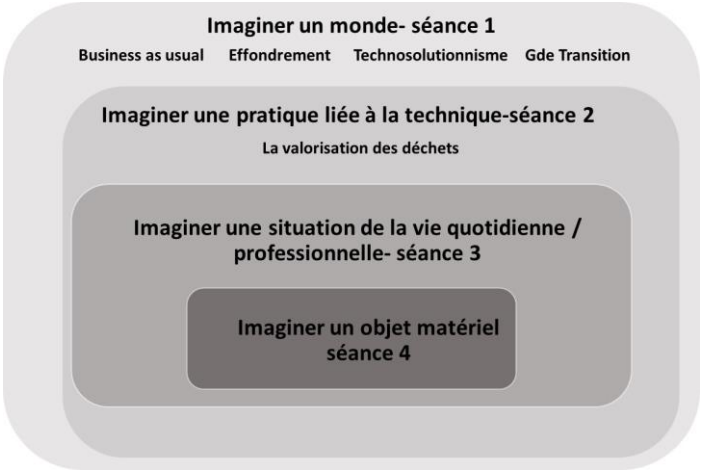


Figure n°2 : Schématisation des contenus des séances permettant de travailler les systèmes sociotechniques associés aux déchets en 2050

Données recueillies et méthode d'analyse

L'expérimentation a impliqué 50 élèves-ingénieur·es de niveau L3, répartis en 9 groupes. Les productions finales de chaque groupe sont synthétisées dans le tableau 1.

Chacune d'elle est constituée d'une description écrite d'un futur situé dans la matrice 2x2, d'une présentation de la problématique des déchets dans ce futur, de la mise en récit d'une situation personnelle ou professionnelle vécue en lien avec les déchets, et de la conception d'un objet représentatif de cette situation qui aurait été « ramené de ce futur ».

N° de la production	Type de futur choisi	Situation construite Séance 3	Production : Objet « ramené du futur » - Séance 4
1	Business as usual	Disparition de la cuisine dans l'habitat sous l'effet de la robotisation	Publicité pour la reprise de l'électroménager avec l'achat d'un robot
2	Business as usual	Envoi des déchets ultimes sur la face cachée de la Lune	Interview du PDG de la société spatiale (Space Waste)
3	Effondrement	Organisation d'un supermarché en situation de pénurie/rationnement	Affiche du magasin expliquant la procédure d'achats
4	Effondrement	Inauguration d'une centrale à gaz dans une communauté	Emission radiophonique avec l'interview du responsable de la centrale
5	Techno-solutionnisme	Distributeur automatique et collectif de plats cuisinés	Publicité présentant la machine (le Baker)
6	Techno-solutionnisme	Traitement des déchets plastiques issus du passé	Offre d'emploi pour un ingénieur (société Rebuild)
7	Techno-solutionnisme	Transformation des déchets issus de la production d'énergie en parc de loisirs	Dépliant publicitaire présentant l'île symbiotique
8	Grande transition	Système de consigne de bouteilles en plastique	Affiche du magasin expliquant la procédure
9	Grande transition	Filière de recyclage et de reconditionnement des smartphones	Dépliant institutionnel expliquant l'organisation de la filière

Tableau n°1 : Caractéristiques générales des productions des neuf groupes d'élèves-ingénieur·es

Nous avons analysé le contenu des productions écrites, en identifiant et catégorisant les thèmes qui y sont développés (Schmieder-Ramirez et Mallette, 2015) :

- les dimensions sociale, environnementale, économique, technologique, et politique des futurs décrits d'une part, et
- les caractéristiques sociotechniques de la situation choisie en lien avec les déchets (réseau d'acteurs impliqués, place de l'ingénieur·e et/ou de l'usager·ère, nature des déchets et procédures de valorisation) d'autre part.

Sur la base de cette analyse, nous avons comparé les productions entre elles pour comprendre la manière dont les élèves-ingénieur·es problématisent la production et la valorisation des déchets dans différents futurs climatiques et technologiques.

Résultats

Les images du futur « business-as-usual »

La société de consommation occupe une place centrale dans les futurs décrits dans les productions 1 et 2. En 2050, le pouvoir politique est toujours démocratique, cependant celui-ci est concurrencé par la puissance économique d'entités commerciales très importantes. La société décrite est fortement inégalitaire, car les pouvoirs politiques et économiques sont détenus par un petit nombre d'individus (système politique oligarchique). L'automatisation des systèmes de production et la numérisation ont rendu difficile l'accès à l'emploi, qui est réservé aux travaux techniques de haut niveau. Les conséquences du changement climatique sont inégalement réparties sur la planète, les moyens et capacités d'adaptation aussi, ce qui a des conséquences géopolitiques. La compétition internationale d'accès aux ressources énergétiques et minérales s'est accrue. Les technologies ont une place plus grande qu'aujourd'hui dans le quotidien, au détriment de l'environnement et des relations sociales (développement d'un univers virtuel). Pour répondre à l'augmentation de la population et aux migrations climatiques, le mode de vie urbain en logement collectif s'est généralisé.

Dans ce cadre, la production 1 s'attache à imaginer le futur du lieu de vie « cuisine » dans un monde dans lequel est disponible une technologie intégrée de préparation des aliments (sous la forme de robots cuisiniers). Le manque de temps pour cuisiner, le manque de place dans les habitations, et les lieux de socialisation majoritairement virtuels rendent inutile la cuisine comme espace de vie. L'ensemble des équipements domestiques liés à ce lieu deviennent des déchets, qu'il s'agit d'évacuer en réutilisant une partie des matériaux pour la construction de robots. L'objet produit est une offre promotionnelle de reprise d'appareils anciens pour bénéficier d'une prime à l'achat d'un robot.

La production 2 s'intéresse aux déchets chimiques ultimes, impossibles à recycler et dangereux. Les élèves-ingénieur·es imaginent une réglementation mondiale qui impose le stockage des déchets chimiques sur la face cachée de la Lune, en attendant des découvertes sur leur recyclage. Leur objet est une interview du PDG de Space-Waste, une entreprise chargée d'assurer le transport et la maintenance de ces déchets. L'interview vante la fiabilité technique du service conçu comme service public mondial, explique la mise en œuvre technique, et met en scène l'irruption d'un activiste écologiste qui critique le discours du PDG.

Les images du futur « effondrement »

Les productions 3 et 4 mettent en scène un futur effondré. Toutefois, certaines caractéristiques de ce futur diffèrent dans les deux productions. C'est le cas de la démographie, qui continue d'augmenter dans la production 3 et qui diminue dans la production 4 du fait des conséquences du changement climatique (aridification de certaines terres, montée des eaux). C'est aussi le cas des structures politiques imaginées, dans la production 3, un état centralisé maintient de façon autoritaire la cohésion sociale (système politique autocratique), alors que dans la production 4, la vie en société s'organise dans de petites communautés qui se regroupent sur des valeurs ou des croyances (des communautés religieuses ou scientifiques par exemple). Certains éléments sont communs aux deux productions : une énergie rare et chère impose un développement technique de type *low-tech*, la production alimentaire locale ne suffit pas à nourrir tout le monde. La tension sur les ressources crée des inégalités entre les territoires et dans la répartition du pouvoir, ce qui augmente les conflits entre populations.

La chasse au gaspillage et au recyclage conduit les élèves-ingénieur·es à imaginer de nouveaux réseaux de socialisation organisés autour du déchet ou de la sobriété.

La production 3 s'inscrit dans une société où le supermarché continue d'être un lieu qui organise la distribution alimentaire. Ils imaginent un système de rationnement centralisé à partir d'une production locale et réduite, et individualisé (selon la composition du foyer ou les intolérances alimentaires,). L'objet imaginé est une affiche explicative du fonctionnement du supermarché : les individus ne peuvent venir récupérer leur ration qu'avec des contenants qu'ils fournissent eux-mêmes.

La production 4 s'inscrit au sein d'une communauté qui vise l'autonomie. Cette communauté s'attache à développer des réseaux sociotechniques prenant appui sur la solidarité entre membres. Les étudiants décrivent la structure sociale qui réglemente la production et les usages de l'électricité, en la couplant à la gestion des déchets issus de la production agricole. L'objet imaginé est une émission radiophonique de la communauté qui invite le représentant d'une nouvelle installation (« horizon ») produisant du biogaz et de la chaleur par cogénération.

Les images du futur « techno-solutionnisme »

Les productions 5, 6 et 7 ont pour cadre un futur *techno-solutionniste*. Elles se situent dans un monde démocratique où la technologie est centrale (système politique technocratique) et permet de résoudre en particulier les problèmes environnementaux. La démographie augmente, mais l'automatisation permet de réguler à la fois l'empreinte carbone des habitants et les interactions sociales. Les métiers scientifiques sont très valorisés et participent à former l'élite de la société. Parmi ces technologies, les productions citent la géoingénierie, l'automatisation, et l'utilisation de ressources renouvelables ou la fusion nucléaire pour la production d'énergie. La bio-ingénierie permet d'adapter les espèces animales ou végétales au changement climatique. Le bio-mimétisme et le bio-plastique permettent à la société consumériste de continuer à se développer. L'évolution de techniques de pointe est décrite en lien avec des politiques incitatives, en particulier de taxation sur le gaspillage alimentaire et énergétique. Le mode de vie décrit est avant tout urbain, individualiste, et connecté. Si la numérisation de la société isole physiquement les individus, elle leur permet d'avoir des relations sociales numériques intenses. L'automatisation et les organismes génétiquement modifiés sont généralisés dans la production alimentaire, la nourriture de synthèse est devenue une norme sociale.

Plusieurs solutions sont imaginées dans les productions pour penser les déchets.

La production 5 est centrée sur un distributeur de nourriture automatique (le *baker*). Il est conçu pour diminuer le gaspillage de nourriture et les déchets d'emballage, et permet d'envisager la disparition de l'espace cuisine dans les habitations. L'objet imaginé est une publicité qui vante le *baker*.

Le futur imaginé dans la production 6 ne produit plus de déchets. Les déchets sont donc ceux des activités humaines passées. La production met en avant un secteur d'activités qui vise à « réparer » le passé. Il s'agit de recycler les plastiques, en particulier ceux qui se sont accumulés dans l'océan. L'objet est une offre d'emploi pour un ingénieur ou un technicien dans une de ces entreprises (nommée *Rebuild*).

La production 7 fait le pari de constructions techniques à double fonction. Outre leur fonction principale (par exemple produire de l'énergie), elles servent à aménager le territoire, et sont conçus comme des extensions des milieux naturels. L'objet produit est un flyer pour une île artificielle, réserve de faune et de flore, construite à partir de déchets issus du démantèlement d'éoliennes.

Les images du futur « grande transition »

Les productions 8 et 9 mettent en scène un futur « *grande transition* ». Ces futurs sont marqués par un changement climatique maintenu au niveau de l'accord de Paris, les modes de vie ont changé pour abandonner les ressources fossiles d'énergie, et malgré une augmentation de population, les centres urbains se sont végétalisés (système politique démocratique et écologiste). L'alimentation est basée sur les légumineuses et les insectes plutôt que sur un régime carné. Le rapport à la technique envisagée n'est pas vraiment *low-tech*, les productions décrivent plutôt un mélange de *low-tech* et de *high-tech* : les transports en commun de proximité et les circuits courts côtoient la fusion nucléaire et les déplacements en vactrain. La société de consommation est toujours présente, mais limitée dans ses excès (par exemple sous sa forme *fast-fashion*).

La production 8 décrit un système de consigne automatisé de bouteilles plastiques vides conçues en bio-polymères. La connexion par internet (internet des objets) permet à l'usager un fonctionnement personnalisé de la machine. Ce système est mis en place dans un village, il est dimensionné pour le nombre d'habitants. L'objet est un mode d'emploi de la consigne, notamment les aspects de communication/usage avec une application smartphone.

La production 9 décrit une nouvelle réglementation qui facilite le recyclage, la réutilisation et le réassemblage de téléphones portables. L'objet est une brochure institutionnelle qui se présente sous la forme de 6 panneaux pliables expliquant le cadre législatif, ainsi que l'organisation des lieux de recyclage et de reconditionnement des appareils électroniques, avec pour visée l'hybridation des cycles de vie des matériels.

Discussion

La relation entre le statut donné aux déchets et leur inscription dans un futur spécifique

Les productions donnent à voir une association forte entre les caractéristiques générales du futur et le statut donné au déchet.

Les déchets dans les futurs *Business as usual* se singularisent par l'organisation de leur exclusion du champ de la perception. Rendus invisibles ils constituent un problème exclusivement technique, situé au bout d'une chaîne d'économie linéaire. Les productions des futurs *techno-solutionnistes* envisagent un futur « zéro déchet », dans lequel les objets

manufacturés peuvent être renouvelés continuellement par des processus techniques de production sans perte, et qui permettent en outre d'envisager une réparation de la Terre. Les productions des futurs de la « *grande transition* » montrent un déchet qui est pris en charge par des éco-gestes, sans remise en question des modes de vie fondés sur la consommation et la circulation (ici des déchets et des personnes). Enfin, les productions des futurs effondrés envisagent une société de sobriété imposée, qui inscrit les déchets dans la mise en place de nouveaux réseaux sociotechniques.

Les types de déchets et les situations choisies par les élèves-ingénieur·es

Les élèves-ingénieur·es se sont majoritairement intéressé·es à des déchets en rapport avec l'alimentation, soit directement (sous la forme de déchets organiques comme dans les productions 4 et 5), soit indirectement (sous la forme de déchets liés à l'emballage des produits alimentaires dans les productions 3 et 8, ou liés aux équipements de cuisine dans la production 1). En ajoutant les déchets électroniques engendrés par l'utilisation de smartphones, ce sont 6 productions sur les 9 qui sont liées à des pratiques de la vie courante, et dans lesquelles la figure de l'ingénieur·e intervient peu. Ainsi, les élèves-ingénieur·es mobilisent des connaissances sur la nature des déchets et sur les pratiques de leur gestion qui sont issues du contexte de leur vie quotidienne. La perception majoritaire des déchets fait en particulier intervenir l'éco-geste citoyen.

Le *low-tech* est difficile à se représenter pour les élèves-ingénieur·es. Finalement, seule une production (n°4) envisage une inscription technique résiliente et durable. Les autres sont fondées sur des éléments et des futurs *high-tech*, même dans le cas de futurs de type « *grande transition* ».

Les temporalités des processus technologiques et climatiques

Les productions des élèves-ingénieur·es s'inscrivent dans des temporalités paradoxales. Les futurs qu'ils décrivent sont souvent très différents du présent, alors que les situations sont familières et que les solutions techniques qu'ils imaginent puisent dans un imaginaire présent ou déjà passé. Les productions montrent une difficulté à projeter les conséquences du changement climatique. Celui-ci est perçu avant tout comme un événement qui n'évolue plus en 2050. Certes le climat a plus ou moins changé, mais l'équilibre climatique est supposé atteint. Cela fait que les politiques d'adaptation et d'atténuation sont décrites

comme figées et ayant déjà eu lieu, et non pas susceptibles d'évolution en fonction de l'intensité du changement climatique.

Conclusion

Cette étude montre qu'il est difficile pour les étudiant·es de se projeter dans le futur, en particulier d'articuler une diversité de temporalités et d'espaces (les contextes quotidiens / mondiaux ; le changement climatique comme processus évolutif). Elle pointe également qu'un rapport de type *low-tech* à la technologie résiste à l'appréhension des élèves-ingénieur·es, qui conçoivent le progrès et la technologie du futur avant tout sous une forme *high-tech*.

Cette première exploitation des données montre que le dispositif de design fiction offre l'opportunité de générer différents schémas techniques concernant la valorisation et le statut donné aux déchets, simultanément à une problématisation de leur inscription sociale dans un monde en changement. L'expérimentation a conduit à questionner la nature des choix technologiques comme des choix de société, ainsi que les effets du changement climatique. Les résultats incitent à modifier le dispositif en intégrant davantage de savoirs relatifs au *low-tech* et aux scénarios du GIEC, et en décalant l'horizon choisi d'une décennie (donc 2060), afin d'ouvrir davantage le potentiel des futurs possibles. Les principales perspectives de cette recherche sont d'approfondir ces premiers résultats, en analysant notamment les interactions dans les groupes durant les différentes séances, pour mieux comprendre comment les élèves-ingénieur·es « négocient » le futur.

Références bibliographiques

ADEME (2018). *Modélisation et évaluation ACV de produits de consommation et biens d'équipement*. Rapport d'expertise. https://librairie.ademe.fr/consommer-autrement/1189-modelisation-et-evaluation-des-impacts-environnementaux-de-produits-de-consommation-et-biens-d-equipement.html

Bleecker, J. (2009). *Design fiction: a short essay on design, science, fact and fiction*. Near Future Laboratory.

Blythe, M. A., et Encinas, E. (2016). The co-ordinates of design fiction: Extrapolation, irony, ambiguity and magic. Dans S. Lukosch, A. Sarcevic, M. Lewkowicz, et M. Muller (dir.), *Proceedings of the 19th international conference on supporting group work* (p. 345–354). ACM Press.

CTI (2022). Références et orientations de la Commission des titres d'ingénieur. Référentiel – Critères majeurs d'accréditation. https://www.cti-commission.fr/fonds-documentaire

Durand, M. (2015). *Gestion des déchets : Innovations sociales et territoriales*. Presses universitaires de Rennes.

Geldron, A. (2016). Métaux stratégiques : la mine urbaine française. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, 82, 67-73.

Gibert, A.-F. (2020). *Eduquer à l'urgence climatique* (Rapport No. 133). ENS de Lyon.

GIEC (2018). *Rapport Spécial : Réchauffement planétaire de 1,5 °C – Résumé à l'intention des décideurs*. www.ipcc.ch

HCC (2021). *Renforcer l'atténuation, engager l'adaptation*. Rapport annuel 2021 du haut conseil pour le climat. https://www.hautconseilclimat.fr/publications/rapport-annuel-2021-renforcer-lattenuation-engager-ladaptation/

Hervé, N. (2022). L'éducation au futur, une ressource pour penser l'Anthropocène. *Spirale, 70*, 113-123.

Kamp, A. (2016). *Engineering education in the rapidly changing world: rethinking the vision for higher engineering education*. Delft University of Technology. http://resolver.tudelft.nl/uuid:ae3b30e3-5380-4a07-afb5-dafd30b7b433

Léna, P. (2019). Le rôle de l'éducation à la science. Dans N. Wallenhorst et J.-P. Pierron (dir.), *Eduquer en Anthropocène* (p. 147-160). Le bord de l'eau.

Lindley, J., et Coulton, P. (2015). Back to the future: 10 years of design fiction. Dans S. Lawson et P. Dickinson (dir.), *Proceedings of the 2015 British HCI Conference* (p. 210–211). ACM Press.

Meira, P. Á. (2019). Climate Change and Education. Dans W. L. Filho et al. (dir.), *Climate Action* (p. 109-120). Springer.

Minvielle, N., et Wathelet, O. (2017). Le « design fiction ». Une méthode pour explorer les futurs et construire l'avenir ? *Futuribles, 421*, 69-83.

Mitrovic, I., Golub, M., et Šuran, O., (2015). *Introduction to speculative design pratice– Eutropia, a Case Study*. HDD & DVK UMAS.

Orange, C., et Orange Ravachol, D. (2017). Problématisations scientifiques fonctionnalistes et historiques en éducation relative à l'environnement et au développement durable : Le cas de l'évolution climatique. *Formation et pratiques d'enseignement en questions*, *22*, 21-38.

Perpignan, C. (2021). *Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques : application à l'écoconception* [Thèse de doctorat]. Université de technologie de Compiègne.

Poynor, R. (2016). Critical world building. Dans A. Coles (Dir.), *Design fiction EP vol. 2* (p. 47-68). Sternberg Press.

Rhydderch, A. (2017). The 2x2 Matrix Technique, *Futuribles - Prospective and Strategic Foresight Toolbox.* Futuribles. https://www.futuribles.com/scenario-building-the-2x2-matrix-technique-2/

Schmieder-Ramirez, J., et Mallette, L. (2015). Using the SPELIT analysis technique for organizational transitions. Dans M. Carmo (Dir.), *Education Applications & Developments* (p. 291-300). InSciencePress.

Spiller, N. (2013). Fictional influences. *Digital Creativity*, *24*(1), 88-92.

Tanenbaum, J. (2014). Design Fictional Interactions: Why HCI Should Care About Stories. *Interactions*, *21*(5), 22–23.

UNESCO (2017). *L'éducation en vue des objectifs de développement durable : Objectifs d'apprentissage*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247507

York, E., Conley, S.N. (2020). Creative Anticipatory Ethical Reasoning with Scenario Analysis and Design Fiction. *Science and Engineering Ethics*, *26*, 2985–3016.

Éduquer aux incertitudes climatiques

Quels repères didactiques à partir de l'étude des conceptions des élèves ?

Chalak Hanaà, Delplancke Malou
Centre de Recherche en Éducation de Nantes (CREN), Nantes Université – France

Résumé

Le changement climatique se pose comme un problème super-pernicieux (Fabre, 2021) dont les incertitudes sont liées à la prévisibilité du changement et aux conséquences des actions entreprises pour le limiter. Ces incertitudes peuvent être appréhendées comme une opportunité plutôt positive pour les apprentissages (Nédelec et al., 2017a). Notre travail propose de mettre en lumière les conceptions d'élèves de Terminale générale sur le changement climatique, à partir d'un questionnaire distribué à une centaine d'élèves. Nous interrogeons la place qu'ils laissent aux incertitudes et aux controverses, leurs représentations des actions à réaliser, ainsi que l'articulation entre leurs connaissances et les actions qu'ils proposent. En réponse aux scénarios catastrophistes et aux sentiments d'impuissance très prégnants dans ce recueil, il émerge l'importance d'une éducation qui redonne de la place aux incertitudes dans cet enseignement.

Le changement climatique, un problème super-pernicieux incertain

La prise en compte des « éducations à » depuis les années 1990 a introduit des changements importants dans les curricula scolaires. Elles prennent en charge des questions socialement vives (QSV) définies selon Legardez et Simmoneaux (2006) par leur vivacité dans les savoirs de référence, dans les savoirs scolaires et dans la société. Cela introduit un nouveau type de problèmes « qui, de près ou de loin, relèvent de la décision éthique ou politique et qui restent très éloignés de l'image idéale, « cartésienne », du problème quant à leur construction et leur résolution » (Fabre, 2021, p. 90). Ces problèmes de nature ouverte pour lesquels il n'y a pas une seule bonne réponse sont différents des problèmes cartésiens qui se caractérisent par le fait d'être parfaitement déterminables, solubles, potentiellement réductibles à un algorithme et dont la solution peut s'évaluer selon des critères objectivables. Dans cette recherche, nous nous intéressons au problème du changement climatique qui ne peut pas se limiter aux seuls savoirs scientifiques en jeu, mais implique des décisions éthiques et politiques, ce qui sur le plan épistémologique l'éloigne des problèmes de type cartésien. Il se pose plutôt comme un problème mal structuré, flou et même pernicieux, voire super-pernicieux (Fabre, 2021). Les problèmes pernicieux sont définis par Fabre (2021), à partir des travaux de Rittel et Webber (1973), comme étant des problèmes complexes auxquels se superposent cinq dimensions : polysémie, conflictualité potentielle, complexité, temporalité critique, ouverture ou absence de solution. Le problème du changement climatique présente un degré de problématicité important dans ces cinq dimensions, ce qui permet de le qualifier de super-pernicieux.

Pour Nédelec (2018), le changement climatique peut être qualifié de « cas complexe » (Kurtz et Snowden, 2003) étant donné les incertitudes liées à sa prévisibilité et aux conséquences des actions entreprises pour le limiter. Les incertitudes sont envisagées comme étant « un état d'indétermination plus ou moins radicale » dont la mesure n'est pas précise (Nédelec et al., 2017b, p. 15). Inhérentes aux connaissances scientifiques (Meira et González Gaudiano, 2016), les incertitudes « épistémiques » (Nédelec et al., 2017a et b) ne sont pas les seules à caractériser les problèmes qui relèvent des QSV comme le changement climatique. Une pluralité d'incertitudes socio-épistémiques peut être identifiée dont l'incertitude des effets et des conséquences du développement des technosciences, des décisions à prendre pour le futur et des acteurs impliqués (Nédelec et al., 2017b). Dans ces

cas, aucun modèle ne peut prévoir les conséquences de telle ou telle décision sur le plan économique et social. Tandis que les incertitudes épistémiques liées aux connaissances du changement climatique sont clairement présentées dans les rapports du GIEC et discutées lors des débats qui animent la communauté des chercheurs et les revues scientifiques (Kergomard, 2012). « Le degré de certitude/incertitude est lié d'une part à la concordance/discordance des observations, des théories et des modèles mis en œuvre pour l'analyse des faits observés (passé) et pour les simulations du climat futur, d'autre part au consensus/dissensus au sein de la communauté des chercheurs. » (Kergomard, 2012, p. 2). Les modèles scientifiques ne sont effectivement pas déterministes, ils « fournissent une représentation statistique de ce que pourrait être le climat dans quelques décennies » (Kergomard, 2012, p. 2). L'élément le plus solide de ces modèles concerne la simulation de l'évolution du bilan radiatif et l'augmentation des températures, alors que la prudence est de mise lorsqu'il s'agit des phénomènes complexes et extrêmes (cyclones, tempêtes, etc.) plus difficiles à intégrer dans une approche globale (ibid.). Cette multiplicité des incertitudes associées à l'exercice de la simulation du climat futur nécessite, selon nous, d'être questionnée pour aider les élèves à mieux comprendre la complexité du problème climatique. Comment cette éducation aux incertitudes climatiques peut-elle être envisagée à l'école ?

Éduquer au changement climatique à l'école comme construction de la capacité à gérer l'incertitude ?

Éduquer aux incertitudes climatiques pourrait se heurter à des difficultés liées principalement à l'attachement aux certitudes de la part des enseignants (Albe et Simonneaux, 2002) mais aussi des élèves, ainsi qu'à une vision erronée, toujours dominante, de l'approche scientifique dans les programmes scolaires. En effet, « la version courante du concept de science, comprise comme un stock de savoir cumulatif, issu d'un processus évaluatif neutre et aseptique - non subjectif - a dominé et domine encore largement les programmes éducatifs sur le changement climatique » (Meira et González Gaudiano, 2016, p. 2). Cependant, la multiplicité des incertitudes socio-épistémiques ne peut pas être ignorée dans l'étude du problème climatique. Elle est à saisir, selon Nédelec et al., (2017b), comme une opportunité positive pour les apprentissages, et non comme un effondrement. Par ailleurs, les élèves semblent, selon certaines recherches internationales (Panu, 2020), éprouver des sentiments négatifs vis-à-vis du changement climatique comme l'éco-anxiété,

l'inquiétude et la tristesse vis-à-vis de l'avenir en raison de l'incertitude, l'imprévisibilité et l'incontrôlabilité du phénomène et des actions à mener. La plupart des ressources scolaires autour de la question climatique analysées par Déduit et Polo (2022) montrent des éléments de refroidissement émotionnel, notamment en limitant sa dimension controversée par l'insistance sur l'action individuelle. Or, « […] la focalisation du propos sur le niveau individuel peut, au contraire, conduire à une sur-responsabilisation culpabilisatrice stérile renvoyant au sentiment d'impuissance, quand c'est plutôt l'action collective qui serait source d'empowerment (Pihkala, 2020) » (ibid, p. 18). D'où la nécessité d'emmener les élèves à se projeter vers l'avenir de manière plus critique en évitant le catastrophisme prégnant parce que « le pire n'est pas certain » (Larrère et Larrère, 2020).

Pour Coquidé (2018), le développement de la pensée statistique pourrait aider à libérer les élèves de l'« addiction aux certitudes » (Favre, 2013) et à les former aux incertitudes. En effet, « la mise en évidence d'ignorances dans les domaines scientifiques et les notions de hasard, d'incertitude et de risque peuvent contribuer à libérer d'un besoin de certitude et à développer une pensée critique et de l'autonomie » (Coquidé, 2018, p.1). Par ailleurs, le développement de leur pensée critique pourrait également être appréhendé par un travail de problématisation des savoirs en jeu (Fabre, 2014). Cette approche des savoirs a été spécifiquement développée dans l'enseignement scientifique (Fabre, 2009; Orange, 2012) et s'est considérablement élargie depuis quelques années pour aborder aussi des questions socio-scientifiques (Barroca-Paccard, 2018, 2021; Orange Ravachol, 2014). Dans ce cadre, une finalité de l'éducation scientifique est de permettre la construction des problèmes en se focalisant davantage sur l'exploration des possibles et les raisons des décisions, que sur les solutions (ibid.). Pour Barroca-Paccard (2021), la problématisation des questions environnementales pourrait éviter les écueils d'une approche comportementaliste (car les actions sont considérées comme des réponses possibles à des problèmes) mais aussi ceux d'une approche relativiste (car elle se base sur la construction de nécessités). Plus précisément, une éducation scientifique tournée vers la mise en place de comportements environnementaux en reposant sur une approche problématisée des savoirs qui articule des éléments connus du registre empirique, des valeurs et des actions possibles permet de saisir la complexité du problème de manière critique et d'éduquer aux choix éclairés. Dans ce cadre, le rôle des enseignants peut être d'aider à la formulation des possibles, à leur comparaison et à l'évaluation de leurs conséquences. Vient alors la possibilité d'élaborer des prises de position argumentées, une fois que les différences de vision, de choix éthiques,

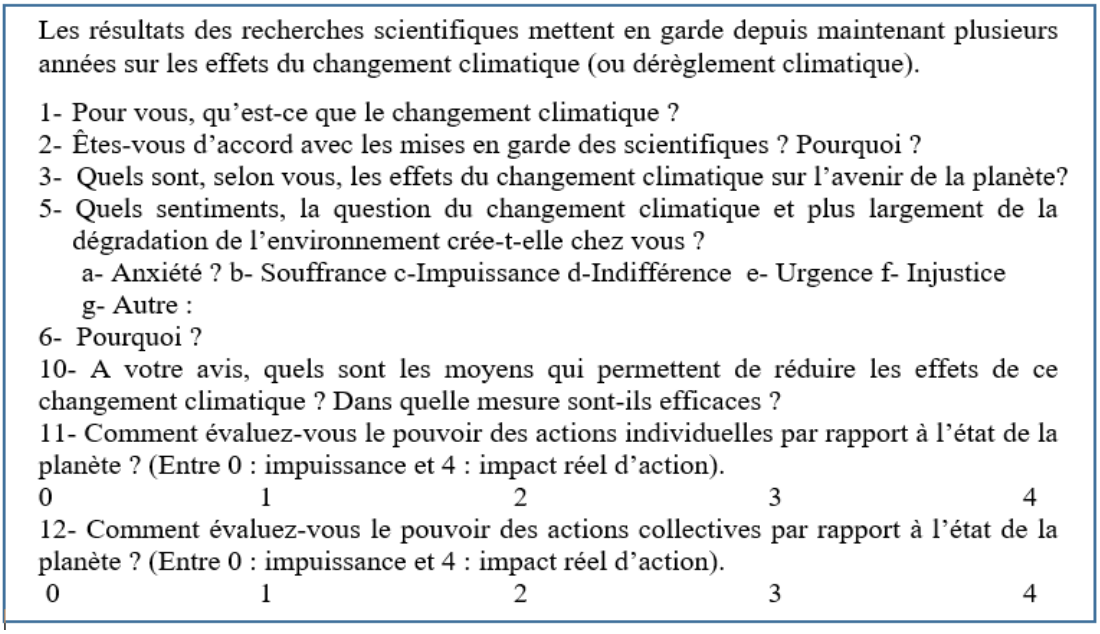
d'opinions politiques ont été rendues intelligibles (Fabre, 2017). Ainsi, les élèves pourront envisager les scénarios d'action de manière raisonnée en lien avec les choix effectués aux échelles locale et mondiale. La prise en compte de ces deux échelles est nécessaire, car il est peu probable que les actions individuelles suffisent à elles seules pour permettre une transition vers des systèmes d'énergie renouvelable (Jorgenson et al., 2019). Le rôle de l'échelle collective ne doit pas être minimisé par l'enseignement au risque de consolider une conception simpliste des liens entre le changement climatique, l'action humaine et l'évolution du système énergétique ce qui mettrait de côté le rôle de la pression directe des collectifs sociaux et environnementaux dans l'évolution des politiques d'approvisionnement en énergie (ibid.). S'il est traité de façon simpliste en se focalisant sur l'échelle individuelle, le problème climatique ne s'inscrit pas dans une dynamique politisante dans la mesure où il n'est pas imputé aux structures collectives (aménagement du territoire et des transports, marché du travail, de l'immobilier, etc.). La prise en compte des questions relatives à l'amélioration, à l'atténuation/adaptation ou à la transformation d'un système dans un contexte de changement climatique sont autant de critères qui permettent de situer l'éducation au changement climatique sur un gradient de durabilité faible à forte (Gibert, 2020).

Tous ces développements nous conduisent à nous intéresser aux conceptions d'élèves en fin de parcours scolaire, à leur « déjà là » cognitif (Giordan et De Vecchi, 1987), au sujet du changement climatique et des actions envisagées pour le réduire. Des études ont déjà été réalisées sur le même sujet (Chartrand et al., 2003 ; Urgelli, 2009) et nous proposons de les actualiser et d'aborder la question du point de vue de la place accordée aux incertitudes par des élèves de Terminale. Quels sont, selon eux, les causes, les effets et les moyens pour réduire le changement climatique ? Comment appréhendent-ils les incertitudes autour des changements climatiques ? Quelles articulations leurs connaissances et les actions qu'ils proposent présentent-elles entre elles ?

Méthodologie de recueil et d'analyse des données

Notre recueil de données s'appuie sur un questionnaire distribué à trois classes de Terminale générale (93 élèves sur 104 ont rendu leur questionnaire) au début du thème d'enseignement scientifique « Science, climat et société » dans un lycée à Nantes. Le recueil a été réalisé dans le cadre d'un mémoire de master d'une enseignante stagiaire sous notre direction (Garnier, 2021). Le questionnaire initial comporte 12 questions ouvertes et fermées. Nous

faisons le choix, dans cette étude, de nous intéresser à 8 questions qui permettent de répondre à nos questions de recherche. Il s'agit d'abord d'identifier leurs conceptions concernant le changement climatique, ses effets sur l'avenir de la planète (questions 1, 2 et 3) puis de voir comment ils envisagent les moyens qui permettent de réduire les effets de ce changement ainsi que leur efficacité (questions 10, 11 et 12). Deux questions (5 et 6) ont pour objectif de repérer leurs sentiments vis-à-vis de la problématique climatique. Les termes choisis pour la question 5 reflètent certaines des émotions décrites dans les cas d'éco-anxiété (Clayton, 2020). L'ensemble de ces questions n'interrogent pas directement les élèves sur les controverses et les incertitudes du changement climatique car il s'agit d'appréhender la place de ces dernières dans leurs représentations de manière indirecte. Nous notons que l'usage du questionnaire présente des limites liées à la compréhension et à l'interprétation des questions par les élèves et au manque d'approfondissement possible des réponses formulées. Cela nécessite de prolonger cette étude avec la réalisation d'entretiens approfondis.



Les résultats des recherches scientifiques mettent en garde depuis maintenant plusieurs années sur les effets du changement climatique (ou dérèglement climatique).

1- Pour vous, qu'est-ce que le changement climatique ?
2- Êtes-vous d'accord avec les mises en garde des scientifiques ? Pourquoi ?
3- Quels sont, selon vous, les effets du changement climatique sur l'avenir de la planète?
5- Quels sentiments, la question du changement climatique et plus largement de la dégradation de l'environnement crée-t-elle chez vous ?
a- Anxiété ? b- Souffrance c-Impuissance d-Indifférence e- Urgence f- Injustice
g- Autre :
6- Pourquoi ?
10- A votre avis, quels sont les moyens qui permettent de réduire les effets de ce changement climatique ? Dans quelle mesure sont-ils efficaces ?
11- Comment évaluez-vous le pouvoir des actions individuelles par rapport à l'état de la planète ? (Entre 0 : impuissance et 4 : impact réel d'action).
0 1 2 3 4
12- Comment évaluez-vous le pouvoir des actions collectives par rapport à l'état de la planète ? (Entre 0 : impuissance et 4 : impact réel d'action).
0 1 2 3 4

Figure n°1 : Extrait des questions proposées aux élèves de Terminale générale.

Nous réalisons trois niveaux d'analyses des réponses des élèves : quantitatives, lexicométriques et qualitatives. D'abord, les analyses quantitatives nous permettent de repérer le nombre d'élèves dont les réponses correspondent aux catégories identifiées pour chacune des questions. Puis, les analyses lexicométriques, effectuées à l'aide du logiciel libre « IRaMuTeQ », servent à avoir une vision d'ensemble des conceptions et à étudier l'organisation des différents éléments qui composent le recueil. Les termes les plus utilisés

par les élèves ressortent de cette analyse. Enfin, des analyses qualitatives des productions des élèves sont menées à partir des éléments repérés à l'issue des deux étapes précédentes. La sélection des réponses écrites vise à illustrer les différents thèmes et catégories identifiés lors des analyses quantitatives et lexicométriques. Nous présentons les principaux résultats en convoquant ces différents niveaux d'analyse de manière non linéaire et en s'appuyant sur les écrits des élèves tels qu'ils ont été rédigés, sans correction orthographique.

Principaux résultats obtenus

Le changement climatique pour les élèves : origine anthropique et conséquences principalement évoquées

Pour définir le changement climatique, une grande majorité des élèves (77 sur 93) fait l'association avec une augmentation et/ou un dérèglement des températures, alors que 17 élèves seulement évoquent les mécanismes en jeu : l'augmentation des gaz à effet de serre et/ou le lien entre température et gaz à effet de serre. Par ailleurs, 41 élèves (sur 93) évoquent explicitement une origine anthropique (liée aux activités humaines au sens large) et 35 élèves (sur 93) font allusion à des conséquences du changement climatique d'ordre différent (perte de la biodiversité, acidification des océans, montée des eaux, augmentation du nombre et de la force des catastrophes climatiques et naturelles, érosion des sols, fonte de glaces et du permafrost, trou dans la couche d'ozone). Le sujet semble connu des élèves questionnés qui convoquent plus facilement les conséquences et l'origine anthropique que les mécanismes en jeu. Certes, la question telle que formulée dans le questionnaire n'incitait pas directement les élèves à exposer les processus en jeu dans le changement climatique. On peut néanmoins souligner une difficulté à s'adosser de manière spontanée à des connaissances précises.

Les élèves sont majoritairement d'accord avec les mises en garde des scientifiques (91 élèves sur 93), avec un tiers des élèves qui mentionne les preuves scientifiques, un autre tiers qui invoque l'urgence de la situation et 15 élèves (sur 93) qui convoquent un argument d'autorité et une confiance totale en la communauté scientifique. Nous n'avons pas identifié de prise de position climato-sceptique dans ce recueil, ce qui peut s'expliquer par un consensus majoritaire dans les sphères scientifiques et médiatiques, après des années passées à convaincre de la solidité des analyses et des prédictions sur le changement climatique. Cependant, nous pouvons également envisager la difficulté qu'il y aurait à assumer une telle position dans un cadre scolaire.

Les effets du changement climatique : anxiété et imaginaires catastrophistes à l'œuvre

L'analyse des réponses à la question 3 (figure 2) montre que les termes de « glace », « fonte », « océan », ainsi que « eau » et « monter » sont souvent reliés. Cette proximité suggère que les élèves associent le changement à la montée des eaux, ainsi qu'à la fonte des glaces. Il en est de même pour les termes de « catastrophe », « naturel », « inondation » et « pollution », qui sont souvent rattachés et qui suggèrent que les élèves associent le changement aux catastrophes naturelles. D'après le nuage de mots (figure 1), c'est la fonte des glaces qui apparaît centrale et reliée à l'ensemble des effets et non l'augmentation de la température. Cela pourrait s'interpréter comme une prédominance de cet effet dans les enseignements. Enfin, la disparition des espèces animales fait partie des effets les plus couramment évoqués.

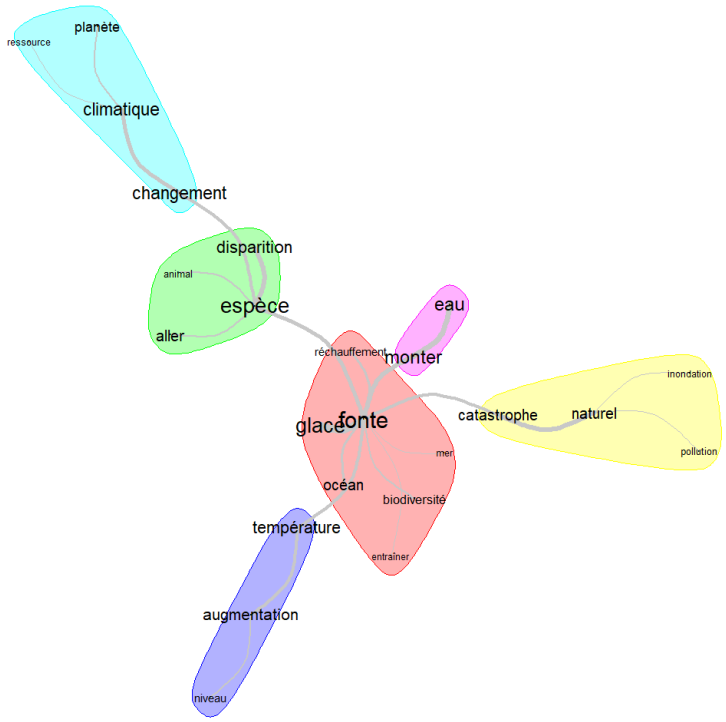


Figure n°2 : Nuage de mots, à partir des réponses à la question 3 « Quels sont, selon vous, les effets du changement climatique sur l'avenir de la planète ? » (93 réponses). Plus la taille des mots est grande, plus ils sont fréquents dans le corpus, plus les traits sont épais, plus les mots sont cooccurrents. Seuls les mots présents à plus de 10 occurrences sont représentés.

34 élèves sur 93 disent ressentir de l'anxiété par rapport à la question du changement climatique (question 5). Au travers de la question 3, cette anxiété s'exprime de différentes façons. Certains soulignent le caractère irréversible des pertes (perte de la biodiversité, dégradation des habitats). L'anxiété est aussi liée à un sentiment de peur, comme la peur de la mort qui peut s'exprimer directement (ex. « On risque de mourir ») ou indirectement (ex. « On a tous l'image des habitants portant des masques à gaz dans le futur, je ne peux pas m'empêcher de me demander si c'est vers ça qu'on court »). Pour certains, la catastrophe est déjà là : « Je suis très anxieux pour l'avenir, j'ai l'impression qu'on est déjà tous morts ». Parallèlement, certaines réponses contiennent dans une même phrase le présent et le futur de l'indicatif de façon imbriquée : « la dénaturalisation de la terre entraîne et entraînera diverses conséquences désastreuses […] beaucoup d'êtres vivants dont humains mourront de canicule excessive ». Certains s'emparent de la question sur les effets du changement en ayant explicitement recours au registre de l'imaginaire : « J'imagine qu'avec la fonte des glaces, les eaux vont monter et engloutiront des îles et des littoraux ». Parmi les imaginaires convoqués, on lit clairement l'imaginaire du déluge qui est à l'œuvre dans plusieurs réponses, comme dans l'exemple suivant : « des extinctions d'espèces essentielles à notre survie, une marée si haute que la terre deviendrait la planète entièrement bleue, plus de ressources ou plus assez pour la société consommatrice dans laquelle on vit, aggravement de la pauvreté et famine dans les pays pauvres notamment ». De nombreuses réponses se présentent aussi sous la forme de récit, dans lesquels mémoire et imagination se mêlent, se nourrissent et s'entretiennent, comme le suggère Bruner (2010). Dans ces récits, les élèves se projettent dans l'avenir par un procédé de narration en articulant leurs récits entre imaginaires et données scientifiques décontextualisées (Orange Ravachol et Triquet, 2007).

Les écogestes pour réduire les effets du changement climatique

La majorité des réponses à la question 10 propose des gestes individuels : tri des déchets, limitation de sa consommation d'eau et d'électricité, utilisation des transports en commun, etc. Certains bilans carbone, en apparence invisibles, comme celui de la viande sont mentionnés, mais les moyens proposés se focalisent sur la réduction des consommations énergétiques à l'échelle individuelle, et ne remontent pas jusqu'à la question du changement des modes de production et de l'échelle collective. La prégnance des écogestes dans ce recueil témoigne du succès des visions qui individualisent le problème climatique tel que le développement durable dominant dans les textes institutionnels, au détriment de celles qui

le socialisent. Plutôt que de faire émerger des moyens collectifs pour lutter contre le changement climatique, les réponses se concentrent prioritairement sur des comportements individuels. D'autres catégories de réponses apparaissent, mais elles sont moins représentées :

- 18 élèves sur 93 proposent des idées qui amènent à repenser notre société et à modifier notre système de valeurs, comme repenser notre mode de consommation en se « reconcentrant sur ce qui est vraiment essentiel ».
- 15 élèves sur 93 évoquent l'engagement citoyen et la prise de décisions politiques fortes (manifestations, pétitions, mise en place de systèmes de taxation, législation). Une élève parle « d'une dictature verte qui serait plutôt efficace ».
- Quelques rares élèves (4 élèves sur 93) mentionnent le recours à des avancées scientifiques.

Lorsqu'on interroge ensuite les élèves sur l'efficacité des modes d'action individuels et collectifs (questions 10 et 11), beaucoup d'entre eux considèrent les actions individuelles comme non efficaces ou très peu. En moyenne, sur une échelle de 0 à 4, les élèves évaluent à 1,8 le pouvoir d'action individuel sur l'état de la planète et à 3 le pouvoir des actions collectives. Il y a donc une sorte de contradiction interne entre le fait d'invoquer en priorité des gestes individuels comme moyen de lutte contre le changement climatique et, dans le même temps, considérer que leur efficacité est très limitée si on les compare aux actions collectives. Cependant, ce schéma explicatif mériterait d'être davantage creusé en poursuivant cette recherche par des entretiens individuels approfondis.

Une réduction de la complexité du problème avec peu de place laissée aux incertitudes

Certains élèves sont imprégnés par un catastrophisme ambiant très prégnant dans la société. De nombreuses formules renvoient à un scénario unique pour le futur qui endosse la forme d'apocalypses caricaturales. Peu de place est laissée aux incertitudes. Si elles sont évoquées, cela renvoie le plus souvent à l'incertitude sur l'effet des actions (ex. « je sais pas vraiment si c'est efficace »). Par ailleurs, « ne pas savoir où l'on va, vers quels risques » est invoqué pour justifier le sentiment d'anxiété. En outre, les scénarios pour le futur sont évoqués le plus souvent de façon déterministe. La certitude du pire est beaucoup plus citée qu'une incertitude des possibles : on partage un destin commun qui est l'effondrement. Des élèves

tiennent par exemple les propos suivants : « On va tous mourir » ou « La terre va je pense disparaître petit à petit en même temps que tous les êtres humains. ». Ces projections dans le futur sous la forme de scénarios essentialisés et naturalisés renvoient au catastrophisme de la collapsologie, qui défend la perspective d'un effondrement systémique des sociétés. Or, selon Orange Ravachol (2005), ce catastrophisme est à distinguer du catastrophisme élaboré des scientifiques, par sa simplification de l'approche du fonctionnement du système Terre en minimisant l'importance des régulations et de la contingence.

Discussion

Nos analyses permettent de pointer la nécessité de redonner une place aux incertitudes de différentes natures dans les apprentissages en lien avec le changement climatique. Une éducation scientifique cherchant à développer une croyance dans le pouvoir de la science, et insistant peu sur le fait que les sciences ne produisent pas de certitudes peut s'avérer problématique. Lange (2011, p. 150) relève une situation paradoxale : « Pour l'éducation scientifique, il faut donc dans le même temps permettre la reconnaissance du caractère incertain des sciences en train de se faire, ancrer celles-ci dans la société en donnant toute la place qu'ils méritent aux débats relatifs aux questions socioscientifiques, et contribuer à réduire l'incertitude de l'évolution des sociétés contemporaines. ». Les élèves questionnés semblent considérer le changement climatique comme étant un problème simple à travailler alors qu'il s'agit, comme nous l'avons déjà évoqué dans la partie théorique, d'un problème super-pernicieux (Fabre, 2022), complexe et impossible à résoudre. Pour les aider à saisir sa complexité, il est donc nécessaire de les emmener à le construire (Fabre 2014) et à explorer les différentes possibilités, ce qui pourrait contribuer au développement de leur pensée critique. Éduquer aux incertitudes demande d'admettre la diversité des possibles et l'avancée de notre monde « non pas vers le plus probable, vers l'étalement de l'entropie, mais vers l'enlacement de l'incertitude et du complexe » (Pena-Vega, 2014, p. 5). Cela peut contribuer à redonner des choix entre plusieurs scénarios possibles, ce qui amène à travailler à la fois l'exercice d'une pensée prospective (Chalmeau et al., 2018; Hervé, 2022) et d'une éducation aux choix.

La prégnance des écogestes dans notre recueil confirme la tendance réductrice en milieu scolaire à se centrer sur les gestes individuels au dépend d'un regard plus systémique, qui interroge explicitement les modes de vie, les valeurs et les responsabilités afférentes dans l'organisation des sociétés actuelles (Simonneaux, 2010). L'école a tendance à privilégier

sans les problématiser les attitudes conformistes de consommation responsable proches de leurs propres normes, au détriment d'attitudes plus critiques par rapport à un système capitaliste qui génère la plupart des problèmes (et) reste incontesté (Sjögren, 2019). Il pourrait être intéressant de développer une vision de l'éducation au changement climatique qui insiste sur sa dimension collective, voire socio-politique (Bencze et al., 2019) et sur le développement de « capacités à questionner la réalité dans un but de transformation sociale collective » (Jeziorski, 2017, p.66).

Tout cela constitue des enjeux importants d'éducation qui donnent des repères didactiques pour interroger les nouveaux dispositifs mis en œuvre dans le cadre de l'éducation au changement climatique comme la fresque du climat (Chalak et Delplancke, 2022).

Conclusion

L'objectif de notre travail de recherche était d'actualiser les connaissances sur les conceptions des élèves en lien avec le changement climatique dans un contexte marqué par le développement de l'écoanxiété des jeunes et une tendance à réduire la solution du problème à la simple application d'écogestes. L'étude des réponses des élèves interrogés montre que la compréhension scientifique de la question climatique n'est pas suffisamment maîtrisée et leur prise de conscience en lien avec ce changement est majoritairement associée à des conceptions négatives autour d'un futur déjà déterminé. C'est pourquoi il est important qu'une éducation au changement climatique contribue à recadrer la crise climatique dans sa complexité, en redonnant une place aux incertitudes de différentes natures, pour participer au développement d'une pensée prospective et construire un avenir durable et positif. Ce travail pourrait être prolongé en réalisant des entretiens approfondis avec certains élèves et en questionnant les conceptions des enseignants autour du changement climatique, de ses incertitudes et de la façon sont celles-ci sont abordées dans les séquences d'enseignement et d'apprentissage.

Bibliographie

Albe, V. (2009). *Enseigner des controverses.* Presses universitaires de Rennes.

Albe, V., et Simonneaux, L. (2002). L'enseignement des questions scientifiques socialement vives dans l'enseignement agricole : Quelles sont les intentions des enseignants ? *Aster, 34*, 131-156. https://doi.org/10.4267/2042/8791

Barroca-Paccard, M. (2018). Approche didactique de l'enseignement de la biodiversité : Enjeux épistémologiques et curriculaires, et conditions d'apprentissage des élèves [Thèse de doctorat, Université de Nantes]. http://www.theses.fr/2018NANT2004

Barroca-Paccard, M. (2021). Un modèle problématisé d'éducation à un développement durable qui intègre actions, savoirs et valeurs : Application à l'exemple de l'enseignement de la biodiversité. *Educations, 4*(1). https://doi.org/10.21494/ISTE.OP.2021.0642

Bruner, J. S. (2010). Pourquoi nous racontons-nous des histoires? : Le récit, au fondement de la culture et de l'identité. Retz.

Chalak, H. et Delplancke, M. (2022, May). Problématiser le changement climatique: quelles factualisations réalisées par des élèves de Terminale?. In *19è colloque Problema: Faits, fake et problématisation à l'Ecole: enjeux didactique et sociopolitiques*. https://problema2022.sciencesconf.org/

Chalmeau, R., Mainar, C. V., Léna, J.-Y., Julien, M.-P., Bédouret, D., et Calvet, A. (2018). Des démarches d'enquête pour explorer son territoire dans le futur. Dans J. Simmonneaux (dir.), *La démarche d'enquête* (p. 83-102). Éducagri éditions. https://www.cairn.info/la-demarche-d-enquete--9791027501878-page-83.htm

Chartrand, C., Garneau, M., et Hudon, C. (2003). Intégration de l'étude des changements climatiques à l'enseignement au premier cycle du secondaire : L'exemple du Saint-Laurent. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, 4*(2). https://doi.org/10.4000/vertigo.4553

Clayton, S. (2020). Climate anxiety : Psychological responses to climate change. *Journal of Anxiety Disorders*, 74, 102263. https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2020.102263.

Coquidé, M. (2018). Ignorance, hasard, incertitude, risque : Des enjeux pour une éducation scientifique émancipatrice. *Recherches en éducation, 34*. https://doi.org/10.4000/ree.1837

Déduit, C., et Polo, C. (2022). La dimension affective de l'éducation au changement climatique : Étude mixte au cycle 3 de l'enseignement primaire français. *Éducation relative à l'environnement, 17*(2). https://doi.org/10.4000/ere.8768.

Fabre, M. (2009). Philosophie et pédagogie du problème. J. Vrin.

Fabre, M. (2014). Les « Éducations à » : Problématisation et prudence. *Éducation et socialisation, 36*. https://doi.org/10.4000/edso.875

Fabre, M. (2017). *Le sens du problème : Problématiser à l'école ?* De Boeck (Pédagogie et Formation).

Fabre, M. (2021). Problématologie des questions socialement vives. Repères épistémologiques pour l'école. *Revue française de pédagogie, 210*, 89-99. https://doi.org/10.4000/rfp.10118

Favre, D. (2013). L'addiction aux certitudes, ce qu'elle nous coûte et comment s'en sortir. Yves Michel.

Gibert, A.-F. (2020). Éduquer à l'urgence climatique, *Dossier de veille de l'IFÉ, 133*. http://veille-et-analyses.ens-lyon.fr/DA-Veille/133-mars-2020.pdf

Giordan, A., et De Vecchi, G. (1987). Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques. Delachaux et Niestlé.

Hervé, N. (2022). Penser le futur. Un enjeu d'éducation pour faire face à l'Anthropocène : L'enquête prospective à l'école. Le bord de l'Eau.

Jeziorski, A. (2017). Enseigner des Questions Socialement Vives : un Champ de Tension Entre l'Education Transmissive et l'Education Transformatrice-Critique. *Sisyphus-Journal of Education, 5*(2), 61-78.

Jorgenson, S. N., Stephens, J. C., et White, B. (2019). Environmental education in transition : A critical review of recent research on climate change and energy education. *The Journal of Environmental Education*, *50*(3), 160-171. https://doi.org/10.1080/00958964.2019.1604478

Kergomard, C. (2012). Changement climatique : Certitudes, incertitudes et controverses. *Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement*, *12*, 4-17. https://doi.org/10.4000/tem.1424

Kurtz, C. F., et Snowden, D. J. (2003). The new dynamics of strategy : Sense-making in a complex and complicated world. *IBM Systems Journal*, *42*(3), 462-483. https://doi.org/10.1147/sj.423.0462

Larrère, C., et Larrère, R. (2020). *Le pire n'est pas certain*. Premier Parallèle.

Legardez, A., et Simonneaux, L. (2006). *L'école à l'épreuve de l'actualité*. ESF.

Meira, P., et González Gaudiano, É. J. (2016). Les défis éducatifs du changement climatique : La pertinence de la dimension sociale. *Éducation relative à l'environnement : regards - Recherches - Réflexions*, *13*(2). https://www.erudit.org/fr/revues/ere/2016-v13-n2-ere04029/1052539ar/

Nédelec, L., Simonneaux, L., et Molinatti, G. (2017a). Des incertitudes socio-épistémiques aux incertitudes professionnelles : Les enseignants face à la question socialement vive de la transition agroécologique. *Spirale - Revue de recherches en éducation*, *60*(2), 49-58. https://doi.org/10.3917/spir.060.0049

Nédelec, L., Simonneaux, L., et Molinatti, G. (2017b). Éduquer dans un monde incertain : Quel cadre pour comprendre comment les enseignants appréhendent les incertitudes des questions socialement vives? *Sisyphus-Journal of Education*, *5*(2), 10-24.

Nédelec, L. (2018). *L'éducation aux sciences dans un monde incertain* [Thèse de doctorat]. Université de Toulouse 2-Jan Jaurès. https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01897072.

Orange, C. (2012). Enseigner les sciences : Problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe. De Boeck.

Orange Ravachol, D. (2014). Les « Éducations à » et les sciences de la nature : Entre dédisciplinarisation et redisciplinarisation. *Éducation et socialisation. Les Cahiers du CERFEE*, *36*. https://doi.org/10.4000/edso.903

Orange-Ravachol, D. (2005). Functionalist and historical theories and problem building in earth-sciences with researchers and secondary-school pupils. https://doi.org/10.4267/2042/8860

Orange-Ravachol, D., et Triquet, É. (2007). Introduction : Sciences et récits, des rapports problématiques. *Aster*, 44, 7-22.

Panu, P. (2020). Anxiety and the Ecological Crisis: An Analysis of Eco-Anxiety and Climate Anxiety. *Sustainability*, *12*(19), 7836. https://doi.org/10.3390/su12197836

Pena-Vega, A. (2014). À l'épreuve des incertitudes. *Communications*, *2*(95), 5-8. https://doi.org/10.3917/commu.095.0005

Pihkala, P. (2020). Anxiety and the Ecological Crisis: An Analysis of Eco-Anxiety and Climate Anxiety. *Sustainability* 2020, *12*(19), 7836. https://doi.org/10.3390/su12197836.

Rittel, H. W. J., et Webber, M. M. (1973). Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences*, *2*(4), 155-169. https://doi.org/10.1007/BF01405730

Sjögren, H. (2019). More of the same: A critical analysis of the formations of teacher students through education for sustainable development. *Environmental Education Research*, *25*(1), 1620-1634.

Urgelli, B. (2009). Les logiques d'engagement d'enseignants face à une question socioscientifique médiatisée : Le cas du réchauffement climatique [Thèse de doctorat]. Ecole normale supérieure Lettres et Sciences Humaines-ENS-LSH Lyon.

Cheminement conceptuel empiriquement fondé pour comprendre le rôle du CO_2 dans le réchauffement climatique

Maron Valentin[(1, 2)], Dufresne Jean-Louis [(3)], Pélissier Lionel[(1,2)], Rabier Alain [(2)], Cochepin Medhi [(2)]
[(1)]EFTS (Education, Formation, Travail, Savoirs), Université Toulouse Jean Jaurès – France
[(2)]INSPE Toulouse Occitanie-Pyrénées, Université Toulouse Jean Jaurès – France
[(3)]IPSL (Institut Pierre-Simon-Laplace), École normale supérieure - Paris, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, Institut National des Sciences de l'Univers, Ecole Polytechnique, Centre National d'Études Spatiales, Sorbonne Université, Centre National de la Recherche Scientifique, Université Paris Cité – France

Résumé

Nous proposons dans cette étude une approche d'enseignement du réchauffement climatique adaptée aux nouveaux programmes de lycée général et professionnel. L'objectif visé est la construction du lien entre émissions de CO_2 et élévation de la température moyenne de la Terre, en s'appuyant autant que possible sur des éléments empiriques explicites. Nous présentons dans un premier temps les approches d'enseignement existantes sur le sujet, qui sont ensuite mises en relation avec les idées et modes de raisonnement connus des élèves, en particulier : la non-évidence des interactions entre gaz et rayonnement pour les élèves. Les choix didactiques structurant l'approche proposée sont alors exposés. Ils s'articulent autour de l'interprétation d'expériences réalisées avec une caméra infrarouge d'une gamme spectrale permettant de voir l'émission et l'absorption du CO_2.

Introduction

« Le réchauffement climatique annonce des conflits comme la nuée porte l'orage. [...] Ce qui est en cause avec cette conférence sur le climat, c'est la paix. ». Ces mots lors du discours d'introduction de la COP21 en 2015[30], par le président de la République française, rappelle tout l'enjeu de l'action climatique. Une des conditions nécessaires pour que des choix politiques forts puissent être acceptés par la population est qu'une majorité suffisante soit d'accord sur l'origine du problème. Si selon le 6ème rapport du GIEC (Intergovernmental Panel On Climate Change, 2021) il est clair que *l'intégralité* du changement climatique observé actuellement est due aux activités humaines, cela ne fait pas encore consensus dans la population. En 2022, d'après une enquête EDF-IPSOS[31], 37% des sondés (24000 personnes dans 30 pays) désapprouvent l'idée que « le changement climatique actuel est principalement dû à l'activité humaine », une proportion en hausse de 6% relativement à 2019. Ce pourcentage atteint 48% aux Etats-Unis, en Russie et en Norvège, ou encore 60% en Arabie Saoudite, les quatre premiers pays producteurs d'énergies fossiles. Parmi les raisons de ce constat figurent les stratégies de désinformations massives de l'industrie fossile aujourd'hui bien connues (Oreskes et Conway, 2010). Ces phénomènes sont également présents en France, avec en particulier un fort regain depuis l'été 2022 sur les réseaux sociaux (Chavalarias et al., 2023). Celui-ci peut être relié à la hausse de 8% en France des personnes niant l'origine principalement humaine du changement climatique, entre 2019 et 2022[3]. Face à cette situation, le rôle de l'enseignement pour établir ce fait de la manière la plus convaincante possible est crucial. En France comme dans d'autres pays, la place de la physique du climat a été fortement renforcée dans les nouveaux programmes du secondaire, dès le cycle 4, et en particulier dans l'enseignement scientifique des classes de première et terminale du lycée général, et dans le programme de physique du lycée professionnel.

Ce travail, issu d'une collaboration entre didacticiens et physiciens du climat, a pour objectif de développer une approche d'enseignement visant à construire le lien entre émissions de

[30] https://www.elysee.fr/front/pdf/elysee-module-13543-fr.pdf

[31] https://www.edf.fr/groupe-edf/observatoire-international-climat-et-opinions-publiques/telechargements

dioxyde de carbone (CO_2) et élévation de la température moyenne de la Terre. La mise en évidence de ce lien apporte un premier argument qualitatif pour comprendre l'origine humaine du changement climatique, en amont de la modélisation permettant les simulations du climat passé et futur. L'intention centrale de cette approche est qu'elle soit accessible avec le minimum de prérequis conceptuels, afin d'être utilisable pour des élèves non spécialistes de physique, notamment dans le cadre de l'enseignement scientifique, adressé à l'ensemble des élèves de lycée général. Notre hypothèse est qu'une compréhension approfondie du lien entre CO_2 et température peut servir de point d'appui à d'autres modalités de l'éducation au changement climatique.

Nous commencerons dans ce chapitre par préciser notre cadre méthodologique. Après avoir synthétisé les savoirs en jeux, nous présenterons certaines approches d'enseignement courantes du sujet, que nous questionnerons ensuite relativement aux difficultés connues concernant la compréhension de l'effet de serre. Cette analyse conduira à expliciter nos questions de recherche, puis à présenter et justifier les différents choix didactiques constituant la proposition issue de cette recherche.

Cadre méthodologique

Ce travail s'inspire du « *Model of Educational Reconstruction* » (Kattmann et al., 1996). Cette formalisation invite à une réflexion sur la transposition d'un contenu donné à un certain niveau, à partir de l'analyse conjointe et la mise en perspective :

- de la structure conceptuelle du contenu en jeu,
- des points de vue et conceptions des élèves et enseignant.es à propos de ce contenu.

Notre objectif final est de produire une « *structure open source* », au sens de Besson et al. (2010, p.3) :

> *To bridge the gap between research project and school reality and, to facilitate the reproducibility in an actual classroom context, the sequences are designed in a form that we call an 'open-source structure'. This means that there is a core of contents, conceptual correlations and methodological choices with a cloud of elements that can be re-designed, omitted, or added by the teacher, who may thereby create new versions of the sequence. Some elements redesigned by the teachers can be included in the standard version issued by the research group. In this sense, the teachers' work provides useful feedback that allows us*

> *not only to test the effectiveness of the proposal and to identify its points of weakness, but also to enrich it with new elements. A variety of approaches is expected in the actual organization of educational activities, depending on the constraints of the classroom and teacher preferences.* (Besson et al., 2010, p.3)

Savoirs visés

La première mise en évidence du rôle du CO_2 sur le climat a été établi par le scientifique Arrhenius dans son article « *On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground* » (Arrhenius, 1896). Celui-ci a pu déterminer les coefficients d'absorption du CO_2 à partir d'observations de la Lune à différentes longueurs d'onde effectués par le physicien Samuel Langley. Depuis, les interactions entre l'atmosphère et le rayonnement sont comprises de plus en plus précisément par les spécialistes du domaine et intégrées dans les modèles de climat. Les équations en jeu pour rendre compte de ces phénomènes sont accessibles à un niveau universitaire, comme par exemple dans le cours d'introduction à la physique de l'atmosphère[32] du magistère des Sciences de la Terre à Paris.

Dans le cadre d'une approche d'enseignement avec le minimum de prérequis, les savoirs en jeu pour construire le lien entre CO_2 et température sont les suivants :

- La notion de rayonnement infrarouge (ses points communs et différences avec la lumière visible), et en particulier l'interprétation d'images de caméra infrarouge, en tant que représentatives de la puissance de rayonnement, et non de la température.
- Le lien qualitatif entre puissance de rayonnement infrarouge émis et température.
- La capacité de certains matériaux à absorber le rayonnement infrarouge (verre, eau).
- La capacité du CO2 à absorber et émettre du rayonnement infrarouge.

[32] https://www.lmd.jussieu.fr/~hourdin/PEDAGO/cours.pdf

- La notion de bilan de puissances de rayonnement d'un système et son lien avec l'évolution de sa température (en particulier : le fait que la température augmente lorsque la puissance entrante et supérieure à celle sortante).
- La notion de bilan radiatif terrestre, l'influence de l'ajout de CO_2 sur ce bilan, et sa conséquence sur la température du système Terre.

Limites des approches d'enseignement existantes

Parmi les scientifiques spécialistes du sujet, certains ont travaillé particulièrement sur des approches de vulgarisation du phénomène d'effet de serre atmosphérique, et ont produit des ressources pédagogiques destinées aux enseignants, dont notamment les deux suivantes, parmi les plus récentes et les plus développées :

- « Principes de base de l'effet de serre » (Dufresne, 2020)
- « Rayonnement, opacité et effet de serre » (Thollot et Dequincey, 2021)

Ces deux ressources ont un point commun : le fait de montrer que l'absorption du rayonnement dépend de la nature du matériau et du type de rayonnement. Suite à ces expérimentations impliquant des solides, est amenée l'idée que cela est également valable pour les gaz. La référence empirique utilisée est le spectre d'absorption de différents gaz. Il s'agit également de l'approche choisie dans une récente recherche en didactique de la physique (Toffaletti et al., 2022).

Dans le cadre de ce travail, visant le développement d'une approche la plus accessible possible du sujet, ces choix didactiques ne sont pas adaptés. En effet, pour un public non spécialiste de physique, ayant une faible maîtrise (voire nulle) de la notion de longueur d'onde électromagnétique, les spectres d'absorption des gaz s'avèrent difficiles (voire impossibles) à comprendre, et donc à utiliser comme référence empirique.

Une autre approche courante dans les ressources pédagogiques sur le climat (par exemple sur le site de *La main à la pâte*[33]), ainsi que dans certaines recherches en didactique (Besson

[33] https://fondation-lamap.org/sequence-d-activites/co2-effet-de-serre-et-activites-humaines

et al., 2010), consiste à s'appuyer sur une manipulation en apparence simple. Celle-ci consiste à comparer l'élévation de température d'une enceinte fermée remplie de dioxyde de carbone et une autre remplie d'air, pareillement exposées au rayonnement. Si on constate effectivement une élévation de température plus grande dans le cas du CO_2, cela est dû principalement aux phénomènes de conduction et convection, variant avec la densité du gaz, et non à l'interaction du CO_2 avec le rayonnement infrarouge, comme dans le cas de l'atmosphère. Une démonstration de la fausseté du raisonnement est notamment faite dans l'article *« Climate change in a shoebox: Right result, wrong physics »* (Wagoner et al., 2010).

Si cette expérience simple ne correspond pas au phénomène d'interaction entre gaz et rayonnement ayant lieu dans l'atmosphère, il ne reste donc aucune preuve expérimentale accessible du rôle du CO_2 dans le réchauffement climatique. L'unique point d'appui utilisable est l'analogie avec le verre ou le plastique, via les expériences montrant l'absorption du rayonnement infrarouge. D'un point de vue didactique, l'utilisation de cette analogie pose la question de sa recevabilité par les élèves, au-delà de l'argument d'autorité.

Idées a priori et difficulté en jeu

A propos de l'interaction entre gaz et rayonnement

Des recherches ont montré qu'au niveau de l'école primaire, l'idée que « l'air soit de la matière » n'est pas du tout une évidence pour les élèves (Plé, 1997). D'un point de vue physique, les gaz ne partagent pas toutes les propriétés des solides. Pourquoi partageraient-ils a priori leurs propriétés concernant les interactions avec le rayonnement ? Pour les élèves, dans quelle mesure l'extrapolation des solides au gaz est-elle intuitive ? Une enquête a été conçue afin d'avoir des éléments de réponse sur ce point, menée par des étudiants de master MEEF (Amiel et Aubry, 2023; Cochepin, 2022; Romond et Lusson, 2023). Suite à une introduction classique à l'émission et l'absorption du rayonnement infrarouge par des solides, les élèves doivent donner leur avis a priori concernant les gaz. Les résultats sont quasiment les mêmes pour les deux questions (émission et absorption) : plus de 3/4 des collégiens (N=208) et 2/3 des lycéens (N=280) répondent soit que les gaz ne peuvent ni émettre ni absorber de rayonnement, soit qu'ils ne savent pas.

Face à ce constat, la question se pose de la manière d'introduire ce phénomène sans le donner à admettre, étant donné le caractère crucial de ce point pour faire le lien entre émissions de

CO_2 et réchauffement climatique. A notre connaissance, aucun article de recherche en didactique de la physique, aucun manuel de terminale enseignement scientifique, ni aucun site proposant des ressources pédagogiques ou de vulgarisation sur le climat (Eduscol[34], Office for Climate Education[35], EduClimat[36], Bonpote[37]) n'apporte d'élément empirique convaincant et accessible concernant les capacités d'émission et d'absorption du rayonnement par certains gaz.

A propos de l'effet de serre

Une littérature importante existe à propos des difficultés relatives à la compréhension de l'effet de serre atmosphérique (Gautier et al., 2006; Shepardson et al., 2011; Handayani et al., 2021). Les points convergents de ces recherches sont synthétisées notamment dans Toffaletti et al. (2022). Parmi ceux-ci revient de manière récurrente l'idée selon laquelle les gaz à effet de serre constituent une sorte de « couche » ou de « couvercle » dans l'atmosphère, formant ainsi une « barrière » contre laquelle une partie de la chaleur ou le rayonnement émis par la Terre « rebondirait » pour revenir vers elle, « piégeant » ainsi l'énergie du Soleil.

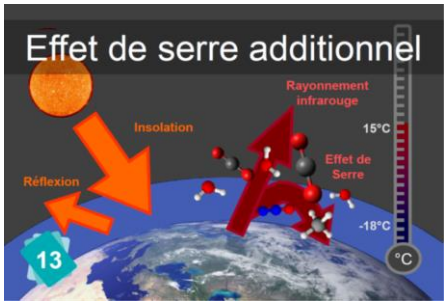


Figure n° 1 : schéma extrait de la Fresque du climat (https://fresqueduclimat.org/)

Cette idée de « piégeage » est régulièrement présente dans les textes de vulgarisation et les manuels d'enseignement, et est renforcée par les schémas proposés (comme par exemple celui de la figure n°1). Cette notion implique implicitement une idée de chronologie, avec

[34] https://eduscol.education.fr/1132/changement-climatique

[35] https://www.oce.global/fr

[36] https://educlimat.fr/

[37] https://bonpote.com/

rayonnement qui part du sol, puis qui est empêché de sortir par l'atmosphère et qui revient ensuite vers la surface de la Terre, et contribue à la réchauffer « un peu plus ». Ce raisonnement de type séquentiel est incompatible avec les schémas associés la plupart du temps, représentant des bilans instantanés, c'est à dire où les valeurs des puissances de rayonnements sont considérées au même moment, et où la température est constante (Colin et Tran Tat, 2011). Un autre aspect problématique, relevé à la fois chez les élèves et dans les ressources de vulgarisation, est la non distinction entre les différents types de rayonnement (solaire, infrarouge terrestre, infrarouge atmosphérique). Cette confusion participe à rendre possible l'idée de « rebond » ou de « piégeage » du rayonnement venant du sol.

Intentions et questions de recherche

Notre objectif est de développer une explication aussi accessible que possible de l'origine du réchauffement climatique, tout en minimisant l'usage de l'argument d'autorité. Autrement dit, nous cherchons à déterminer un raisonnement qui puisse être suivi par un maximum de personnes, quel que soit leur bagage scientifique, tout en limitant au maximum les étapes où il est implicitement demandé de « croire sur parole » les scientifiques ou enseignant.es qui présentent le sujet.

Dans le cadre de l'enseignement scolaire français, cette approche pourrait être utile notamment dans le cadre de l'enseignement scientifique de terminale générale, sur le point précis du lien entre émissions de gaz à effet de serre et réchauffement global. Cet enseignement s'adresse à l'ensemble des élèves de lycée général, c'est-à-dire y compris à des élèves n'ayant pas continué la physique au-delà de la classe de seconde générale. Les prérequis sur lesquels il est possible de s'appuyer sont donc très restreints.

Parmi les gaz à effet de serre, nous avons fait le choix de nous focaliser sur le rôle du CO_2, en tant que principale cause du réchauffement.

Notre étude vise à prendre en compte les trois constats précédents :

- Les expériences simples d'enceintes fermées avec ou sans CO2 ne sont pas valides pour expliquer le réchauffement climatique.
- Les spectres d'absorption du CO2 ne sont pas accessibles pour des élèves non spécialistes de physique.

- L'idée qu'un gaz puisse émettre ou absorber un rayonnement infrarouge, présentes dans l'ensemble des schémas d'effet de serre, n'est pas une évidence pour les élèves.

Etant donné ces trois constats, la question centrale de cette recherche est la suivante : comment construire le lien entre émissions de CO_2 dans l'atmosphère et température moyenne de la Terre, pour un public non spécialiste de physique ? Comment établir cette relation en s'appuyant sur des éléments empiriques accessibles avec un minimum de prérequis ? En particulier : comment mettre en évidence la capacité des gaz à interagir avec le rayonnement infrarouge ? Et comment faire le lien entre cette interaction et l'évolution de la température globale, tout en prenant en compte les difficultés d'interprétation des représentations classiques de l'effet de serre ?

L'objectif n'est pas de concevoir une séquence d'enseignement complète sur le sujet, mais plutôt construire la structure logique d'un cheminement conceptuel, qui pourrait être déclinée ensuite de diverses manières selon les contextes. Cette structure « open source » est constituée de différents choix didactiques vis-à-vis des notions mobilisées ou non, des choix de définitions, les expériences, les représentations, les liens logiques ou encore les questionnements possibles. L'enjeu de cette recherche a été de développer et justifier ce noyau minimal de choix didactiques répondant à notre question, qui soit rigoureux à la fois du point de vue des physiciens spécialistes du sujet que du point de vue des chercheurs en didactique de la physique, vis-à-vis de prise en compte des difficultés connues et de la place de l'argument d'autorité.

Les deux point clefs centraux, à notre connaissance inédits dans les approches existantes sur le sujet, sont les suivants :

- L'interprétation d'expériences réalisées avec une caméra infrarouge d'une gamme spectrale permettant de voir l'émission et l'absorption du rayonnement infrarouge par le CO2,
- le raisonnement sur un bilan radiatif à l'interface entre le système Terre-atmosphère et l'Espace, sans considération de ce qui se passe entre la surface terrestre et l'atmosphère.

Ce dernier point rejoint l'intention de produire une proposition aussi accessible que possible, c'est à dire avec le minimum de prérequis conceptuels. Cela a mené en particulier à

construire un cheminement conceptuel ne s'appuyant à aucun moment sur les concepts physiques suivants :

- **La notion d'onde électromagnétique, de longueur d'onde et de spectre de la lumière.** Si ces notions peuvent être évoquées dans le cadre du programme de seconde de physique-chimie (en 2023), elle reste d'une abstraction extrêmement élevée pour des élèves ne pouvant pas avoir d'idée à ce niveau de ce que représente les champs électrique et magnétique. De plus, l'affirmation selon laquelle « la lumière est une onde électromagnétique » relève au lycée (et même souvent au-delà), uniquement de l'argument d'autorité, au sens aucune justification n'est donnée). Raisonner à partir des longueurs d'onde reviendrait alors à prolonger cet argument d'autorité, ce qui aurait été contraire à l'intention de construire une connaissance, au cœur de notre démarche.
- **La notion d'énergie**. Bien que présente tout au long du cursus scolaire, en physique-chimie comme dans d'autres disciplines, les recherches en didactique et en épistémologie montrent d'importantes difficultés associées à l'apprentissage du concept d'énergie, faisant écho à sa très grande abstraction comme à sa polysémie dans le langage courant (voir par exemple la synthèse effectuée dans Bächtold (2018, chapitre 3). Plutôt que de considérer le « bilan énergétique terrestre », nous n'avons considéré que des « bilans de puissances de rayonnement », cette notion pouvant se référer à l'intuition de la « luminosité ». Si le contexte s'y prête, l'introduction de la notion d'énergie est toujours possible *a posteriori*, en tant que produit de la puissance de rayonnement par une durée.

Nous avons également fait le choix de ne pas nous appuyer du tout sur d'autres concepts de physique couramment utilisés dans les approches du sujet. Il s'agit par exemple des notions de flux, chaleur, transfert thermique, équilibre dynamique, régime transitoire et permanent.

Méthodologie

De nombreuses divergences existant entre les approches d'enseignement de l'effet de serre (Besson et al., 2010; Colin et Tran Tat, 2011; Dufresne et Treiner, 2011), nous avons

souhaité travailler directement en collaboration entre chercheurs en didactique et physiciens du climat spécialistes du sujet, afin de pouvoir confronter les différents points de vue, et garantir la rigueur scientifique de nos propositions sur ce sujet particulièrement technique. La toute première version de l'approche proposée est issue d'un travail des didacticiens, cherchant à concilier les apports des articles cités précédemment. Cette proposition a fortement évolué suite aux discussions avec Jean Louis Dufresne. Pensée comme relativement stabilisée, cette nouvelle version a été présentée à des étudiants de master enseignement (MEEF 1 et 2) dans le cadre de cours de didactique sur la physique du climat. Ces premières expérimentations exploratoires avaient plusieurs objectifs. D'une part pour les enseignants-chercheurs, l'enjeu était de travailler le discours sur le sujet : comment exprimer le cheminement des idées de la manière la plus synthétique possible ? Quelles étapes étaient finalement superflues relativement à l'objectif final ? Quels prérequis non anticipés étaient peut-être nécessaires à la compréhension ? D'autre part, le questionnement oral aux étudiants sur chaque étape de cheminement visait à sonder le degré de clarté des liens logiques proposés. Ce travail de tâtonnement itératif par la pratique, pour chacune des versions, a permis de nouvelles remises en cause majeures. En particulier, la plus importante a été la prise de conscience collective avec les étudiants de la non évidence - du point de vue les élèves - de la capacité d'un gaz à interagir avec le rayonnement infrarouge. Cette réalisation a mené à l'enquête citée précédemment à ce sujet, objectivant cette intuition. Elle a également mené à élaborer toute une partie expérimentale avec des observations « infrarouge » de ballons de CO_2 (cf. section suivante). Une fois sur cette piste, nous avons continué les expérimentations exploratoires de l'approche didactique intégrant désormais cette partie empirique, également avec les étudiants de master enseignement (de l'année suivante), et aussi d'autres personnes de profils différents, dont des enseignants en formation continue. Les retours obtenus ont à nouveau suscité de nouvelles remises en causes, de nouvelles expériences infrarouges (5 sessions en tout) et de nouvelles propositions didactiques, systématiquement discutées avec les physiciens du climat, jusqu'à la version actuelle, faisant suite à 23 précédentes versions.

A ce stade du travail, l'enjeu n'était pas encore d'obtenir des retours de la part d'élèves sur le cheminement conceptuel élaboré, mais de construire un enchainement logique d'idées respectant les conditions suivantes :

- la rigueur scientifique du contenu,

- la prise en compte des difficultés connues des élèves,
- la minimisation de l'argument d'autorité, en s'appuyant autant que possible sur des expériences qui soient interprétables au niveau visé,
- le principe de parcimonie, c'est-à-dire le fait de ne conserver que les éléments strictement nécessaire à l'élaboration du raisonnement,

C'est seulement une fois obtenu un cheminement conceptuel respectant ces exigences que nous souhaitons le traduire en plusieurs possibles séquences d'enseignement pour l'expérimenter avec des élèves, et continuer de l'affiner.

Proposition de cheminement conceptuel pour relier CO_2 et température

La structure du cheminement conceptuel proposée ici consiste en six points clefs centraux, chacun étant illustré par une figure. Certaines figures comportent une ou plusieurs questions, qui sont des exemples de questionnements pouvant être adressés à des élèves. L'ensemble des choix didactiques présentés et justifiés ici pourrait être adapté, complété et mis en œuvre dans le cadre de différentes séquences d'enseignement, adaptées selon le niveau, les contraintes pratiques et les points de vue sur l'apprentissage.

Introduction au rayonnement infrarouge

La première notion à construire dans l'approche proposée est celle de rayonnement infrarouge. Son introduction s'appuie sur sa détection par une caméra infrarouge (figure n°2).

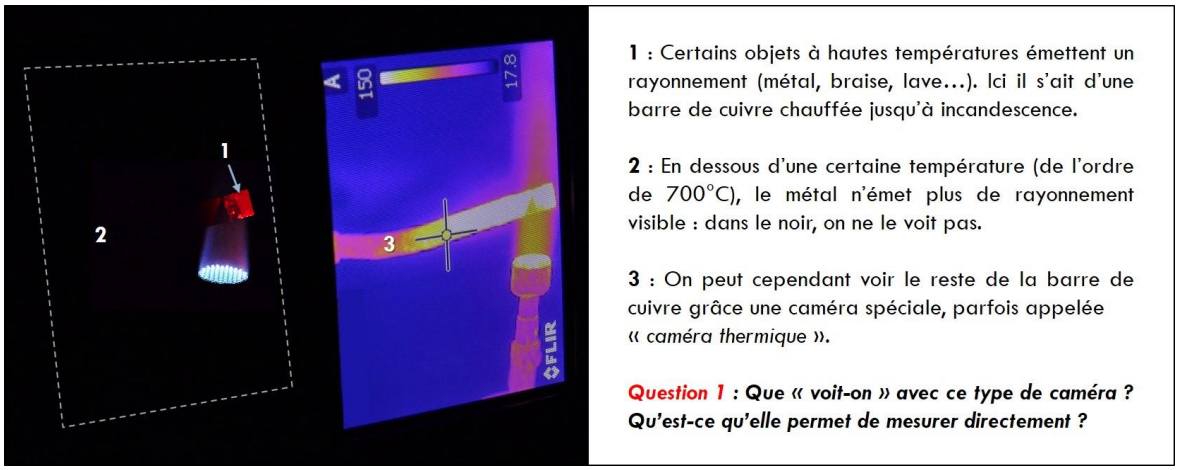


Figure n°2 – Une barre de cuivre chauffée jusqu'à incandescence, dans le noir, observée avec une caméra « thermique »

Le choix a été fait de faire cette image dans le noir, de manière à éliminer une possible confusion entre les deux manières pour un objet d'être visible : par diffusion (source secondaire) ou émission (source primaire). Le terme de « caméra thermique » est en soit problématique dans la mesure où il renforce l'idée d'une caméra permettant de « voir » la température, à la façon d'un thermomètre. Cela est d'autant plus renforcé par l'échelle de température (reconstruite) associée à ce type d'image, comme dans la figure n°2 (en haut à droite). La suite du cheminement nécessite la compréhension de ce que mesure directement ce type de caméra : des puissances de rayonnement infrarouge. Des premières expérimentations en classe sur ce point (Cochepin, 2022) ont montré la forte tendance à continuer d'interpréter les images infrarouges en termes de température ou de chaleur, malgré une clarification de ce point en début de cours. Cette conception erronée interfère par la suite avec l'interprétation des images mettant en jeu les phénomènes d'émissions et absorption du rayonnement infrarouge, où les couleurs ne correspondent plus aux températures des objets observés. Afin d'anticiper et d'insister sur ce point, il a été choisi de considérer la réflexion infrarouge (figure n°2), dans le but de mettre en évidence l'impossibilité de l'interprétation en température, et le point commun avec la lumière visible. Dans toute la suite, il est intentionnel d'avoir laissé présent ce reflet infrarouge en arrière-plan des autres expériences, afin de pouvoir s'y référer régulièrement pour rappeler que les couleurs ne peuvent pas correspondre à des températures.

Figure n°3 – Mise en évidence du reflet infrarouge dans une vitre

Après avoir amené l'idée que la caméra permet de détecter un type de rayonnement, l'interprétation de la figure n°2 peut être clarifiée : en dessous d'une certaine température, le métal n'émet plus de rayonnement visible (dans le noir, on ne le voit pas). Il émet cependant toujours un rayonnement, invisible pour notre œil. Comme il s'agit d'un rayonnement émis après la zone rouge de plus en plus sombre, on l'appelle rayonnement

infra-rouge. On privilégiera donc systématiquement l'appellation de « caméra infrarouge » plutôt que « caméra thermique ».

Reste à préciser la nature de la grandeur physique mesurée par ce détecteur. D'un point de vue physique, il s'agit de la puissance de rayonnement par unité de surface, pour une gamme de longueurs d'onde donnée. Le choix fait ici est de se restreindre à la notion de « puissance de rayonnement ». Le rapport à la surface est laissé implicite par le fait que les valeurs mesurées (traduites en couleurs) peuvent varier spatialement, ce qui sous-entend une grandeur locale sans nécessairement qu'il y ait besoin de l'expliciter la notion de puissance surfacique à ce stade. L'avantage de raisonner sur la notion de puissance est qu'elle peut s'appuyer sur l'idée intuitive de luminosité d'une lampe, ayant un sens à un instant donné.

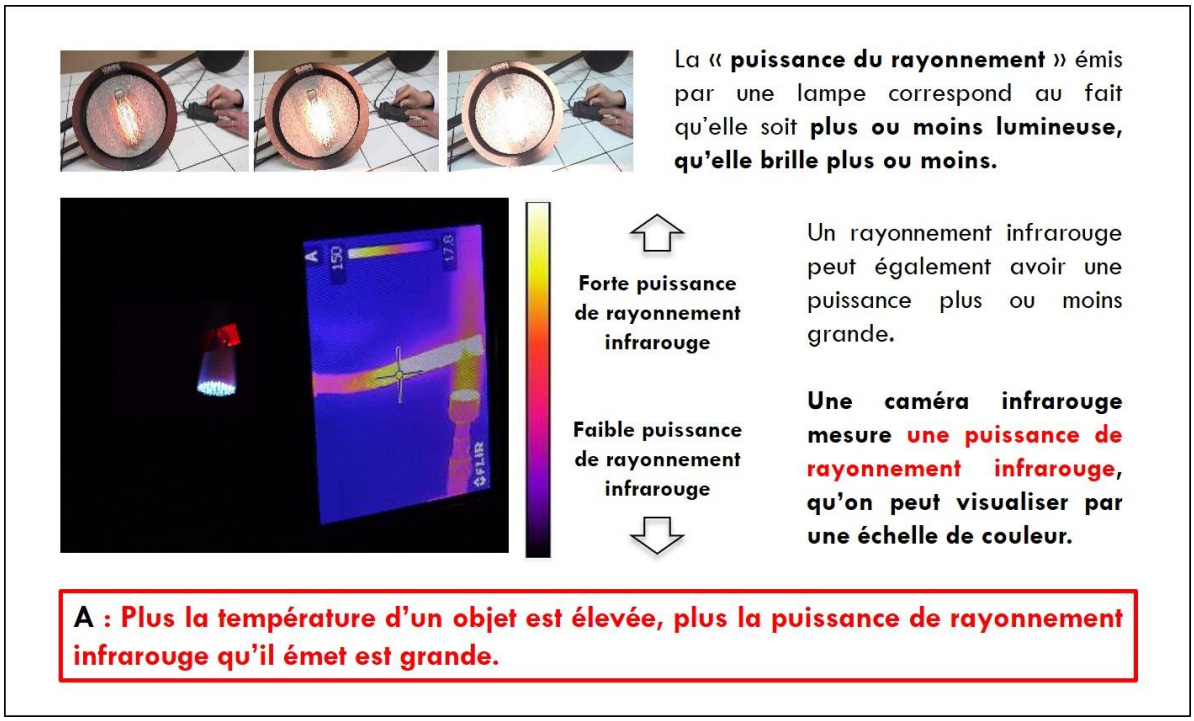


Figure n°4 : Introduction de la notion de puissance de rayonnement infrarouge

Une fois introduite la notion de puissance, le lien entre puissance de rayonnement émis et température peut être facilement mis en évidence. Dans le cas de la barre de cuivre chauffée, il suffirait de montrer avec un thermomètre que plus on s'éloigne de la flamme, plus la température diminue. De même, la puissance de rayonnement infrarouge émise par la barre décroit avec la distance à la flamme. L'exemple de la barre de cuivre incandescente pouvant donner l'impression que seul des objets très chauds peuvent émettre un rayonnement infrarouge, il peut être intéressant d'associer explicitement une puissance de rayonnement

infrarouge à des objets à des températures proches de la température ambiante, comme par exemple dans la figure n°3 avec un corps humain, des habits, une vitre…

Rayonnement à travers la matière solide

Avant d'introduire l'interaction entre rayonnement infrarouge et gaz, nous proposons de commencer par considérer le cas de solide (de même que dans Dufresne, 2020; Thollot et Dequincey, 2021)). L'expérience de la figure n°5 a été pensée cependant de manière à servir d'appui pour interpréter celles avec le CO_2, comme nous le montrerons ensuite.

Figure n°5 : Rayonnement visible et infrarouge à travers la matière

Cette photo permet plusieurs observations :

- La puissance de rayonnement infrarouge émis par le verre d'eau chaude est plus grande que celle du verre d'eau froide.
- La puissance du rayonnement infrarouge en provenance du verre d'eau froide est plus faible que la puissance du rayonnement venant de la personne derrière. Le verre ne laisse donc pas passer (ou du moins pas entièrement) le rayonnement infrarouge. A ce stade, il n'est pas encore possible d'introduire la notion d'« absorption » du rayonnement par la matière, car cette baisse de puissance est également liée à la réflexion du rayonnement infrarouge par le verre.
- Dans le cas du verre d'eau chaude, même si une part du rayonnement venant de la personne ne traverse pas non plus le verre, cela ne peut pas se voir : la puissance du rayonnement émis par le verre chaud est

suffisamment forte pour compenser la part venant de derrière qui ne traverse pas (et même être plus grande que celle-ci).

Un second exemple d'interaction rayonnement matière est également utilisé, celui d'une pochette plastique (figure n°6).

Figure n°6 : Rayonnement infrarouge à travers une pochette plastique et un verre d'eau

Après avoir considéré ces différents exemples, la question peut être posée en ce qui concerne les gaz. En effet, comme on l'a vu précédemment avec l'enquête effectuée à ce sujet, il semble que pour la large majorité des élèves du secondaire l'idée que les gaz puissent émettre ou absorber du rayonnement n'est pas une évidence.

Rayonnement à travers les gaz

Les expériences qui suivent visent à mettre en évidence l'interaction entre CO_2 et rayonnement infrarouge. Malheureusement, elles ne sont pas possibles avec les caméras infrarouges les plus courantes (celles présentes dans les établissements scolaires) dont la gamme spectrale de sensibilité ne se superpose pas[38] avec celle du spectre d'absorption du

[38] La gamme spectrale des caméras infrarouge les plus courante se situe entre 8 et 15µm, ce qui correspond précisément à une plage pour laquelle le CO_2 et la vapeur d'eau n'émettent pas de rayonnement infrarouge.

CO_2. Ces expériences ont été réalisées avec une caméra infrarouge prêtée par un laboratoire de physique. Si l'on peut regretter l'impossibilité de reproduire ces expériences en classe, il se trouve que c'est également le cas des expériences permettant d'obtenir les spectres d'absorption des gaz. La grande différence ici est que l'interprétation des expériences que nous proposons est beaucoup plus accessible, dans la mesure elle où ne nécessite pas la notion de longueur d'onde électromagnétique.

La première expérience consiste à comparer des ballons en latex, l'un rempli d'air, l'autre de CO_2 pur. A température ambiante, si l'on observe les deux ballons avec la caméra infrarouge, on observe la même chose pour les deux : une puissance uniforme. L'interprétation de l'observation de chacun des ballons est cependant différente. Dans le cas du ballon d'air, une grande part du rayonnement infrarouge arrivant vers le ballon le traverse, et très peu de rayonnement est émis par celui-ci. Dans le cas du ballon de CO_2, une part du rayonnement arrivant vers le ballon est absorbée par le CO_2, et celui émet également du rayonnement infrarouge. Ainsi, pour comprendre cette interprétation, il faut déjà pouvoir mettre en évidence l'absorption et l'émission du CO_2. Une manière de le faire consiste à observer les ballons à plus basse ou plus haute température que leur environnement, de façon à ce que la puissance de rayonnement émis ne compense pas la puissance de rayonnement absorbée. Nous commencerons avec des ballons refroidis dans un bac à glace (figure n°7).

Ces caméras sont en effet conçues notamment pour pouvoir relier la puissance infrarouge provenant d'un bâtiment à son champ de température, sans que cela soit affecté par la présence de gaz entre le bâtiment et la caméra, CO_2 ou vapeur d'eau. Malheureusement, les caméras infrarouges permettant de détecter les gaz sont beaucoup plus chères (de l'ordre de 50 000 € en 2023).

Figure n°7 : Gonflage d'un ballon de CO_2 et refroidissement des ballons

En lumière visible, on constate dans un premier temps que le CO_2 est aussi transparent que l'air. Observé avec la caméra infrarouge, on obtient l'image suivante (figure n°8) :

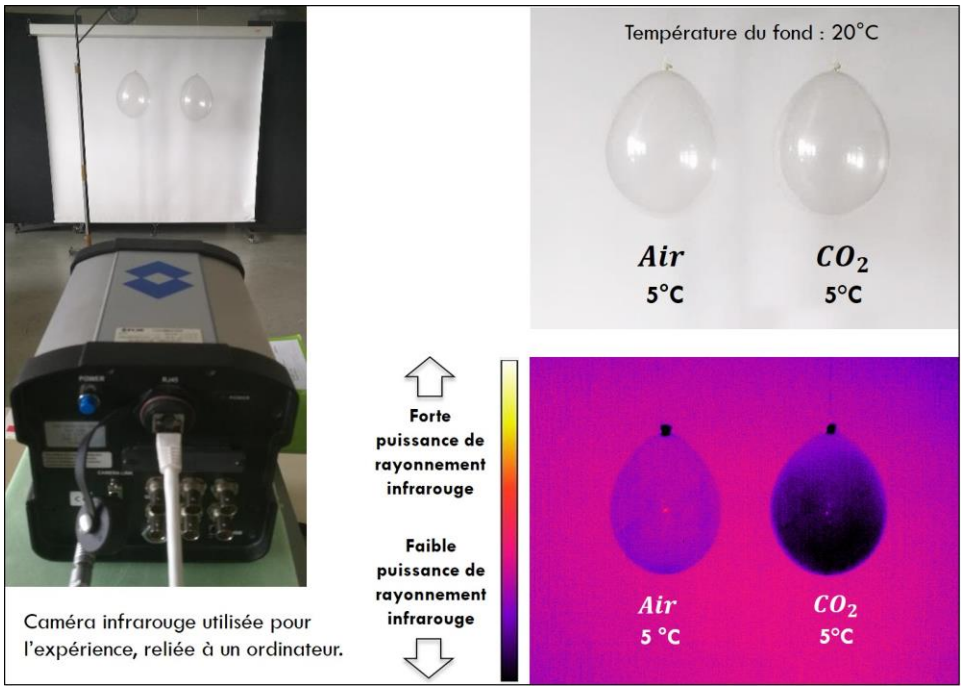


Figure n°8 : Ballons d'air et de CO_2 froids observés avec une caméra infrarouge

La comparaison avec le ballon d'air à la même température permet de dissocier l'influence du CO_2 de celle de la membrane du ballon, qui à la fois peut réfléchir et absorber une part

du rayonnement infrarouge. La seconde expérience consiste à observer des ballons plus chauds que la température ambiante (figure n°9).

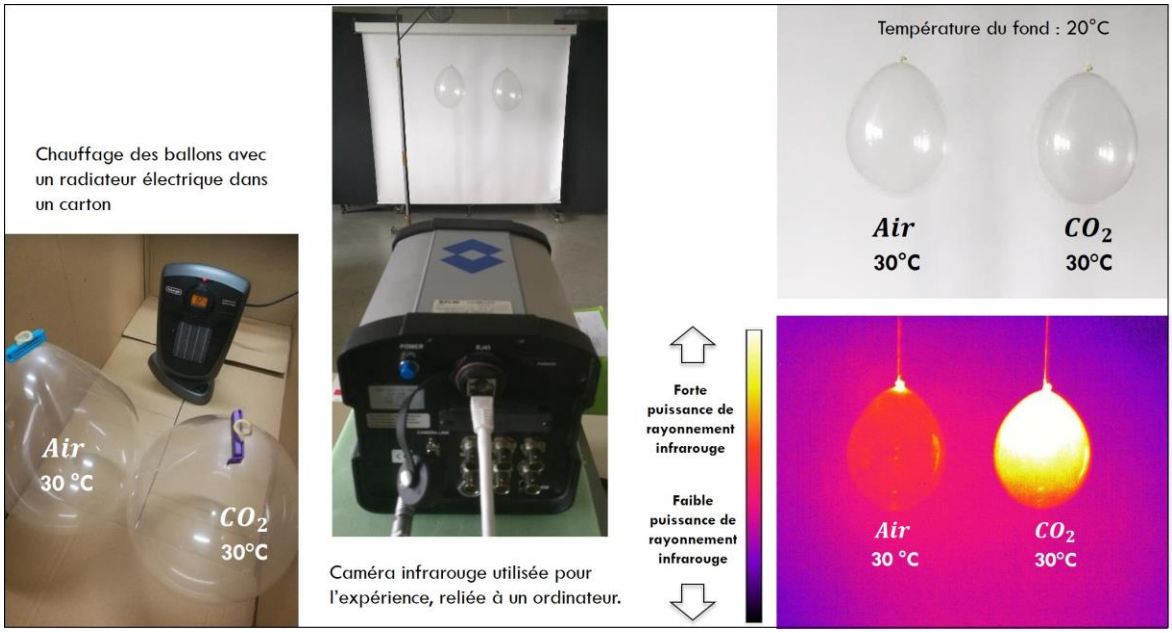


Figure n°9 : Ballons d'air et de CO_2 chauds observés avec une caméra infrarouge

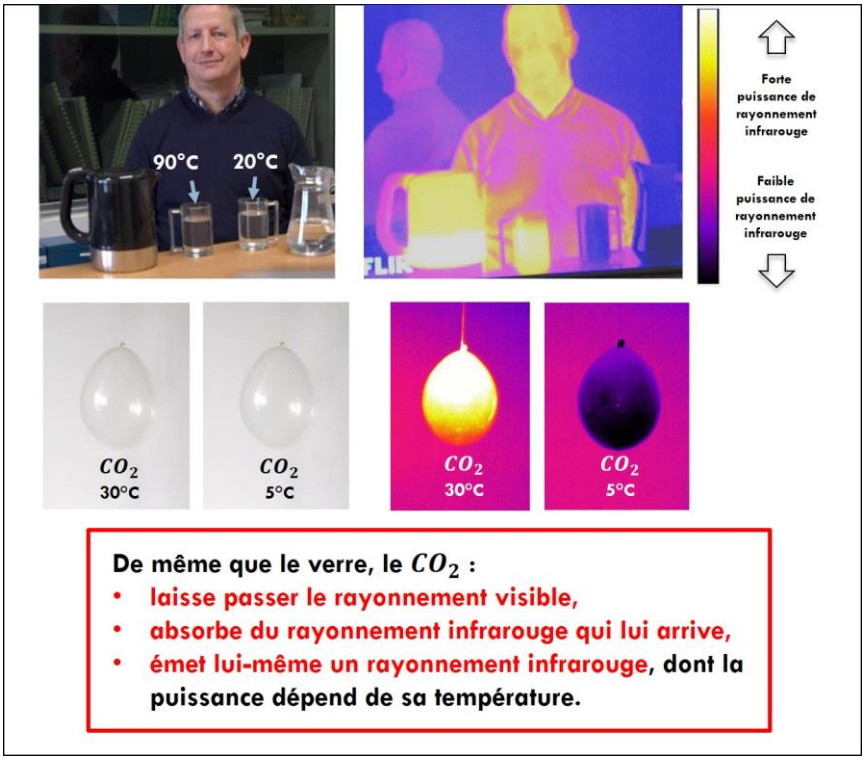


Figure n°10 : Comparaison entre les verres d'eau et ballons de CO_2 à différentes températures

La comparaison complète peut alors être faite avec le cas des verres d'eau chaud et froid (figure n°10). L'extrapolation au système Terre-atmosphère peut alors être questionnée (figure n°11) et établie (figure n°12)

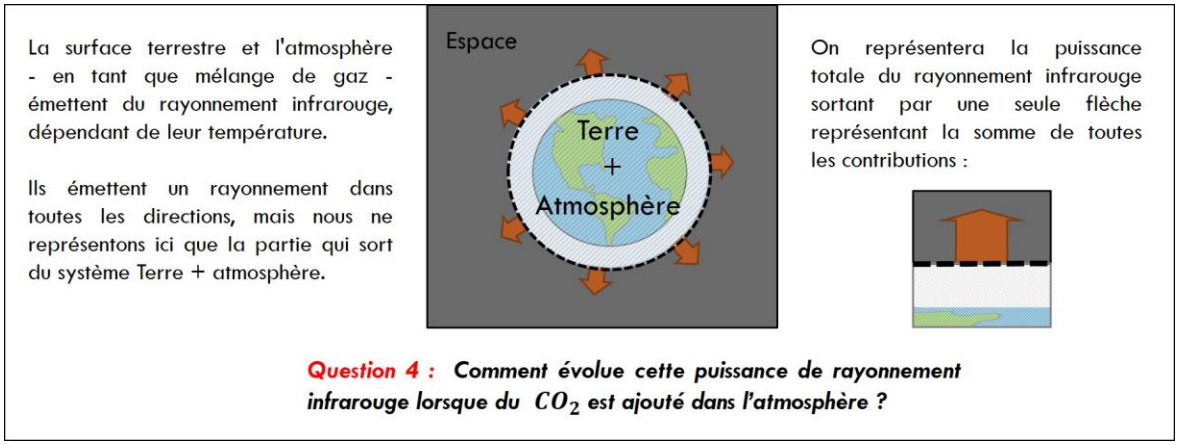


Figure n°11 : Deux représentations du rayonnement infrarouge émis par le système Terre-atmosphère

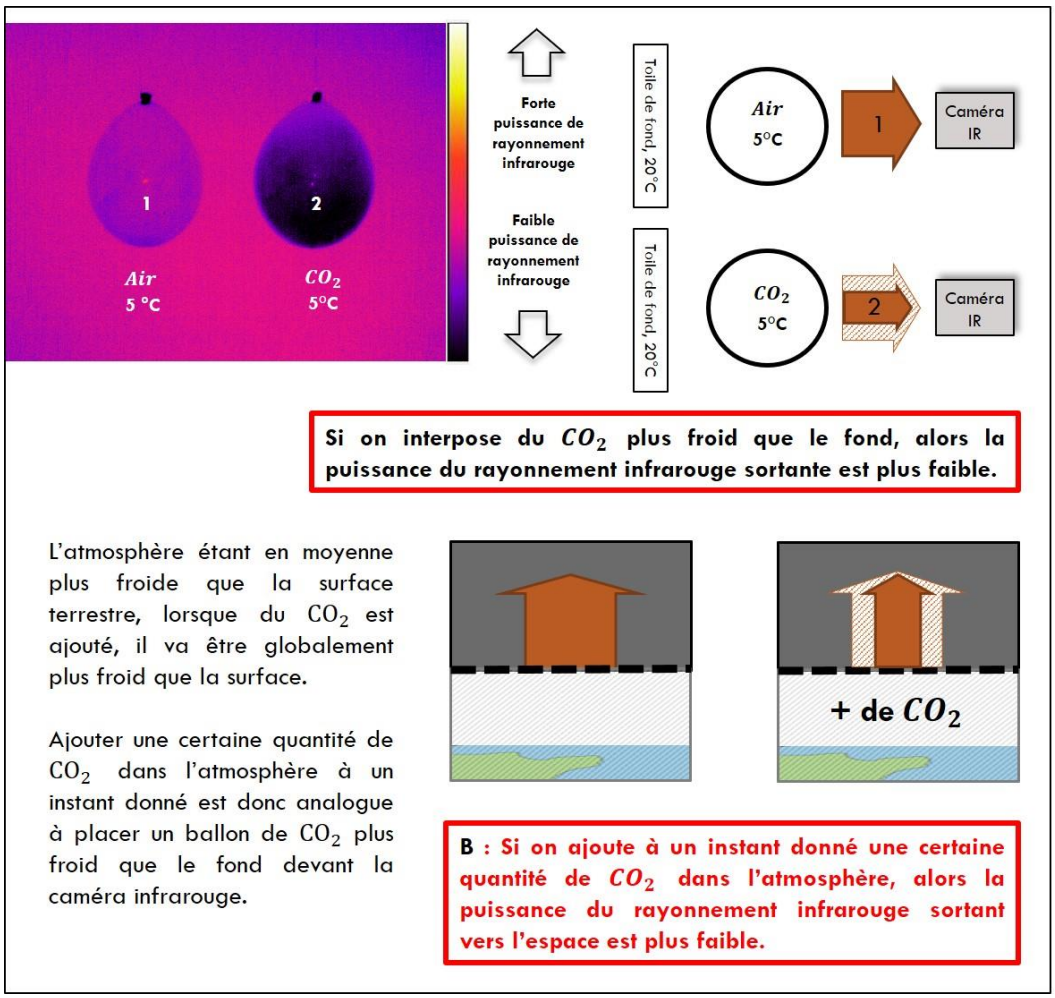


Figure n°12 : Extrapolation de la conséquence d'un ajout de CO_2 dans l'atmosphère sur le rayonnement infrarouge sortant vers l'Espace

Bilan de rayonnements et évolution de la température

Le dernier élément nécessaire pour relier CO_2 et température est la notion de bilan de rayonnements. L'exemple choisi est celui d'une plaque de tôle au soleil (figure n°13).

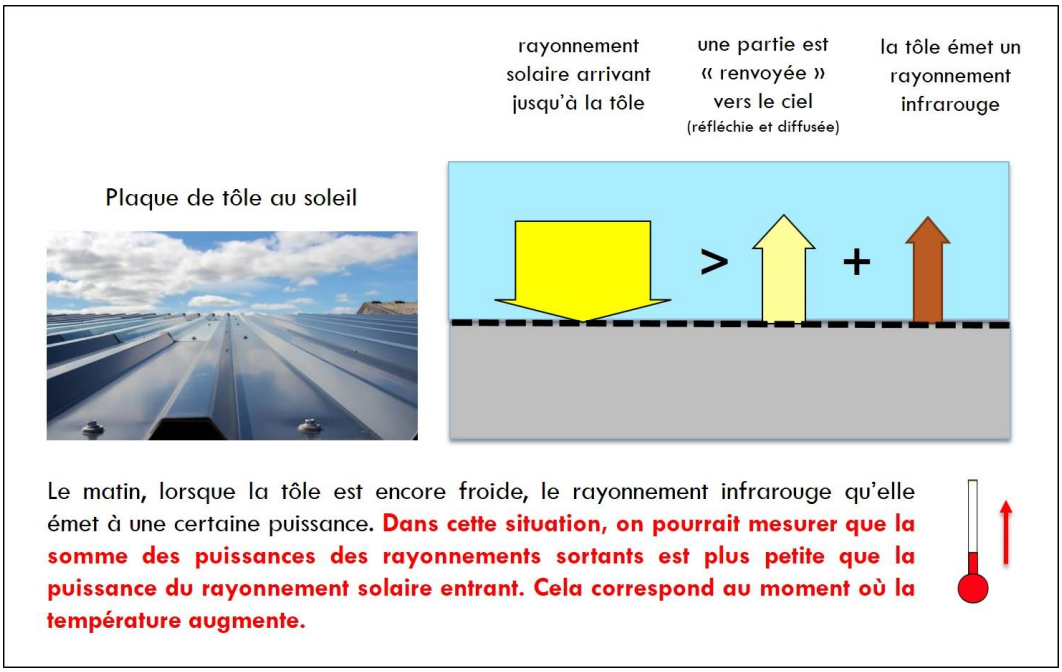


Figure n°13 : Bilan des rayonnements pour une plaque de tôle au Soleil

Cet exemple permet de relier la comparaison des puissances de rayonnement entrant et sortant à l'évolution de la température (figure n°14).

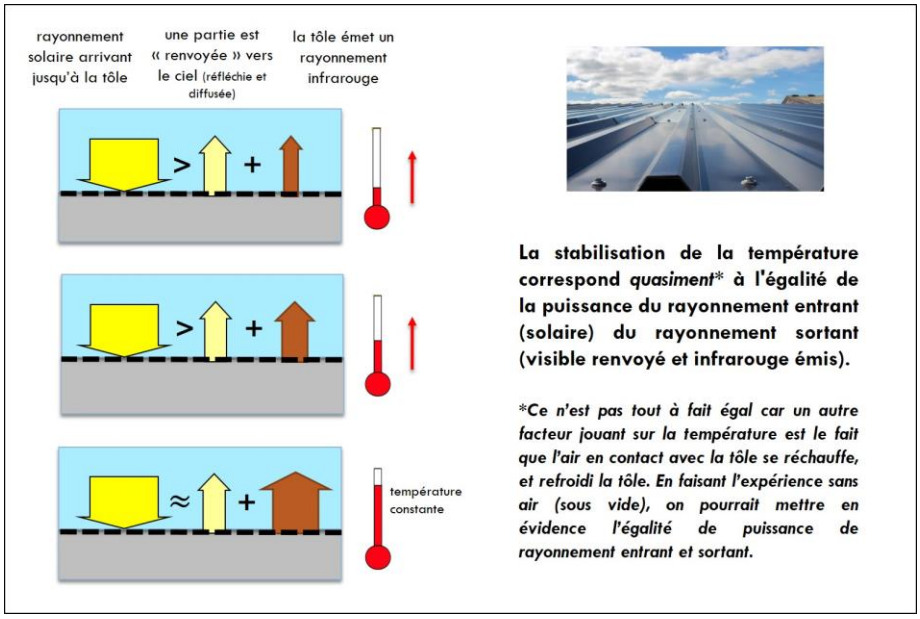


Figure n°14 : Bilan des rayonnements et évolution de la température, dans l'air

La prise en compte de l'influence de l'air sur la température de la tôle mène à imaginer le cas d'une plaque de métal dans une enceinte sous vide (figure n°15). Cette expérience va correspondre à la situation du système Terre-atmosphère, dans le vide de l'Espace.

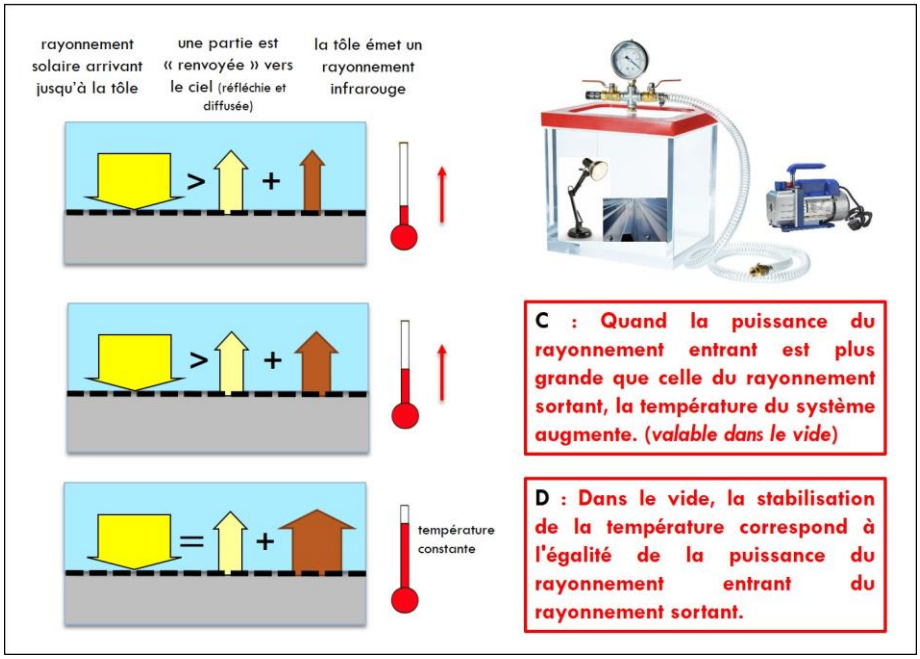


Figure n°15 : Bilan des rayonnements et évolution de la température, dans le vide

Bilan des rayonnements du système Terre-atmosphère

La dernière étape du cheminement conceptuel proposé consiste à mettre en relation les conclusions des figures précédentes (A, B, C, D, figures n°4, 12 et 15), dans le cas du système Terre-atmosphère (figure 16).

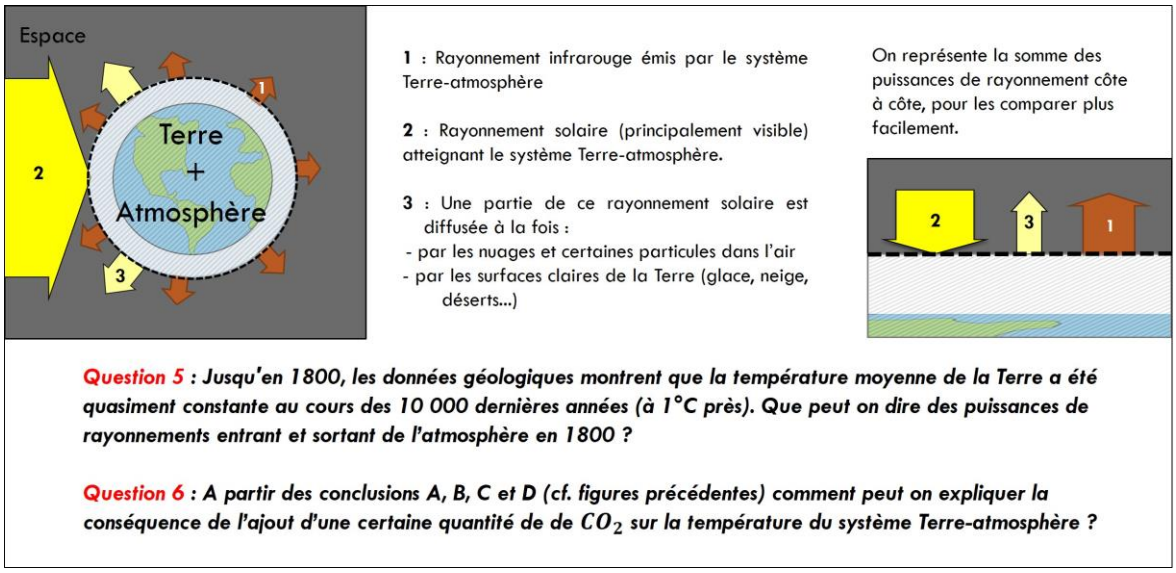


Figure n°16 : Bilan des rayonnements du système Terre-atmosphère

Ici, un choix didactique central consiste à ne pas représenter les différents rayonnements émis par la surface terrestre et l'atmosphère, pour se concentrer uniquement sur l'interface entre le système Terre-atmosphère et l'Espace. La raison de ce choix est qu'une représentation du bilan des rayonnements impliquant la surface terrestre et l'atmosphère (figure n°17) ne permet pas d'aller au bout de raisonnement suite à l'ajout de CO_2.

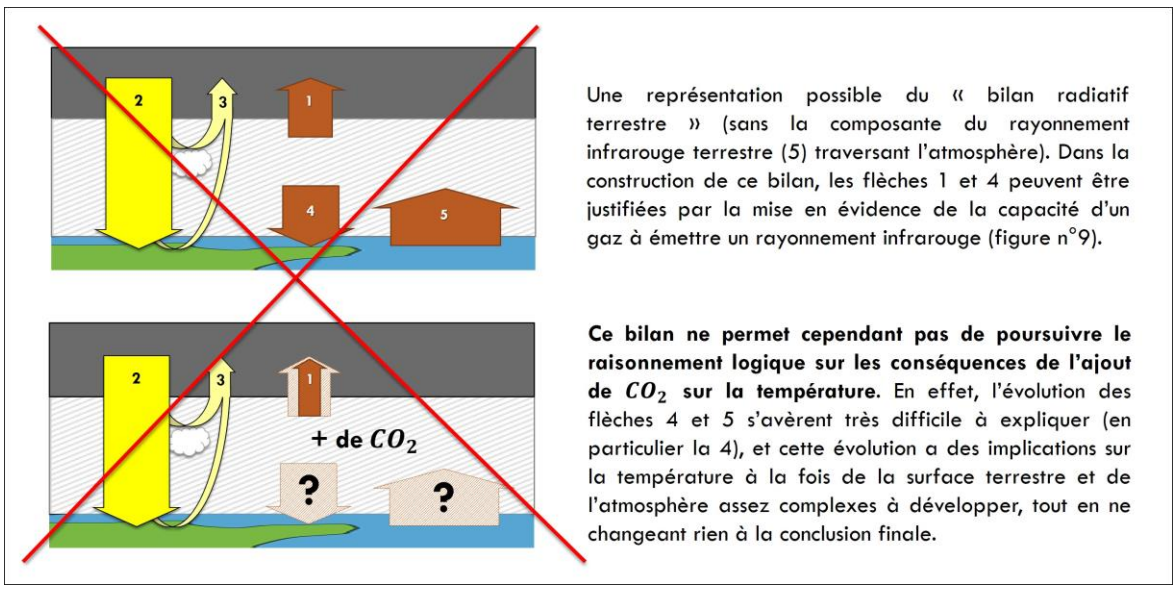


Figure n°17 : Bilan radiatif prenant en compte les interfaces Terre-Atmosphère et Atmosphère-Espace (non utilisé dans la proposition présentée ici)

En effet, ce bilan ferait figurer notamment le rayonnement infrarouge émis par l'atmosphère vers la Terre (4 dans la figure n°17). Or celui-ci est également affecté par l'ajout de CO_2,

d'une manière contre-intuitive et difficile à expliquer pour un public non spécialiste. Ce niveau de détail n'est par ailleurs pas nécessaire pour arriver à la conclusion recherchée, pour laquelle un raisonnement sur le schéma de la figure n°16 suffit, comme par exemple celui de la figure n°18, répondant aux questions 5 et 6 de la figure n°16.

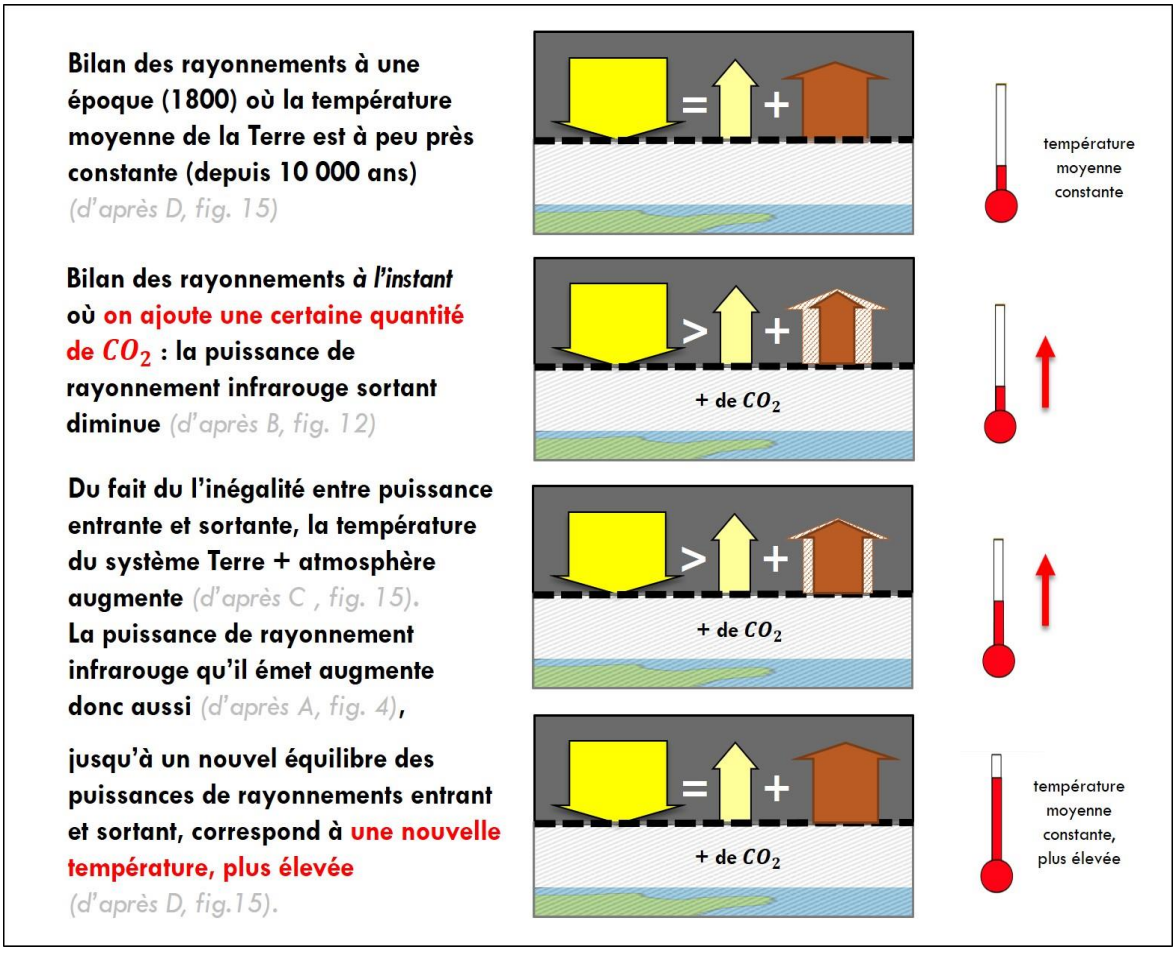


Figure n°18 : Conséquence de l'ajout de CO_2 sur l'évolution de la température du système Terre-atmosphère

Dans le cadre de cette représentation, il est également possible de considérer les effets amplificateurs du réchauffement. Ceux-ci permettent de mettre en évidence la nécessité d'une description locale du système et la quantification des différents phénomènes en jeu (figure n°19).

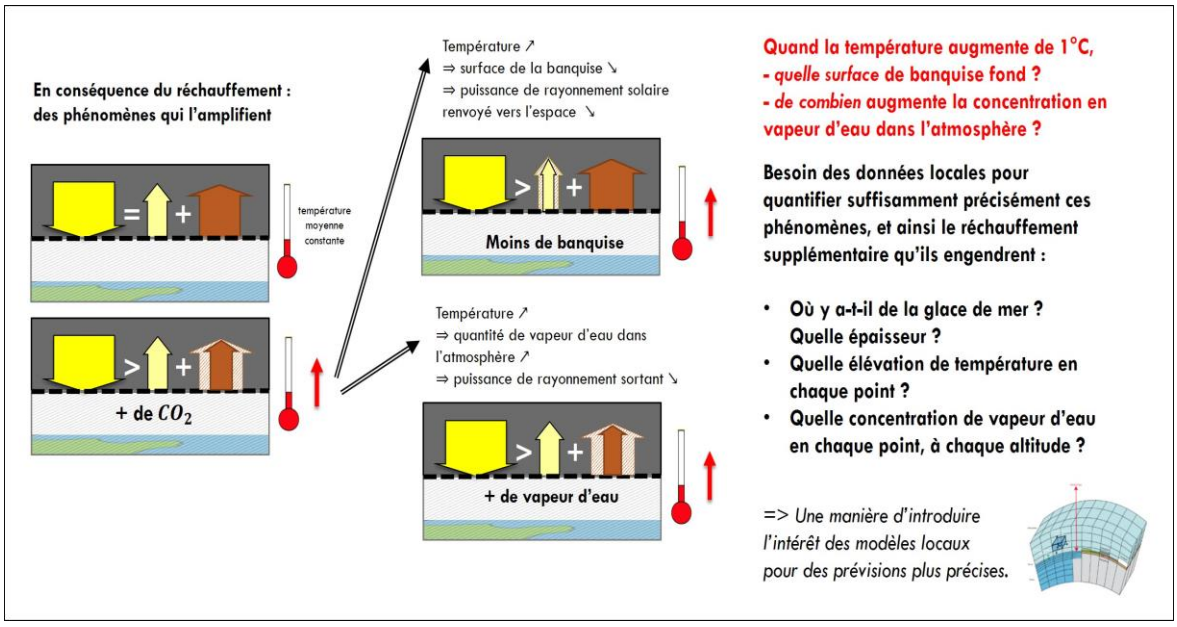


Figure n°19 : Deux phénomènes d'amplification du réchauffement

Conclusion

Ce travail montre qu'il est possible de construire une approche qualitative rigoureuse pour relier émissions de CO_2 et réchauffement global, sans avoir besoin de faire appel à un grand nombre de notions abstraites traditionnellement utilisées. Cette proposition permet ainsi de diminuer considérablement le rôle de l'argument d'autorité, présent implicitement dans de nombreuses approches vulgarisées du sujet, dès qu'elles s'appuient sur des concepts inaccessibles à un public non spécialiste ou débutant en physique (énergie, longueur d'onde, spectre d'absorption…).

Les choix didactiques essentiels du cheminement conceptuel proposé sont les suivants :

- l'utilisation de la notion de puissance de rayonnement (généralisée à partir de la luminosité) et d'expériences de reflet infrarouge (pour comprendre qu'une caméra infrarouge ne mesure pas une température),
- l'interprétation d'images infrarouges de ballons d'air et de CO2 à différentes températures, permettant de visualiser la capacité d'émission et d'absorption du gaz,
- le raisonnement, pour le cas du système Terre, sur un bilan radiatif centré sur l'interface avec l'Espace (sans considération de l'interface sol - atmosphère).

Ce raisonnement apporte un premier argument qualitatif pour comprendre l'influence des émissions de CO_2 sur la température, en amont de la modélisation permettant les simulations du climat futur, prenant en compte l'ensemble des phénomènes. La compréhension de comment sont construits ces modèles de climat est essentielle pour justifier les projections quantitatives de réchauffement à partir de scénarios d'émissions de gaz à effet de serre. La conception d'une approche didactique de la construction d'un modèle climatique est actuellement en cours, avec la même intention d'accessibilité et de minimisation de l'argument d'autorité.

Une séquence d'enseignement basée sur les choix didactiques présentée de cet article a été expérimentée avec un petit groupe d'élève de seconde générale, en deux heures. L'analyse des données vise à d'évaluer l'accessibilité de certaines étapes de raisonnement, notamment à partir de l'analyse des réponses des élèves (individuellement puis en binôme) aux six questions présentent dans les figures précédentes (n°2, 3, 5, 11, 16), ainsi que l'ensemble des interactions verbales.

Une difficulté systématique dans l'évaluation des choix didactiques est que les retours d'expérimentation avec les élèves impliquent nécessairement à la fois les choix structurant le cheminement conceptuel et les options pédagogiques pour le mettre en œuvre, à travers les situations d'apprentissage proposées. Il est ainsi délicat de distinguer ce qui peut être attribué à l'un ou l'autre de ces deux types de facteurs, pouvant parfois se coupler. Sur la base de ce constat, nous prévoyons d'expérimenter plusieurs mises en œuvre possibles à partir du même cheminement conceptuel, afin de permettre une analyse croisée des résultats. Les premiers retours d'élèves seconde pourront ainsi nourrir la conception de différentes séquences d'enseignement, de manière collaborative avec des enseignants du secondaire, à visée d'expérimentation avec les élèves. Afin de nourrir également ce projet de recherche collaborative, deux autres expérimentations ont eu lieu avec des enseignant.es, stagiaires (N=8) et confirmé.es (N=15), dans le but de recueillir leur point de vue les choix didactiques proposées. Un dossier leur a été fourni avec l'ensemble des figures de ce chapitre, sur lesquelles ils ont réagi par écrit en précisant ce qu'ils modifieraient, enlèveraient ou ajouteraient à chaque document. Il leur est proposé ensuite d'échanger en binôme à partir de leurs commentaires et questions sur le dossier, avant une mise en commun et réponses aux questions par les auteurs. L'objectif de l'analyse des commentaires et des enregistrements

audio est de prendre en compte ces retours à la fois pour les choix didactiques en eux même et pour la manière de les présenter et de les justifier dans un document de formation.

Références bibliographiques

Amiel, A., et Aubry, C. (2023). *Étude de quelques conditions d'enseignement et d'étude des transferts d'énergie par rayonnement au cycle 4* [Mémoire de master 2]. Université Toulouse Jean-Jaurès.

Arrhenius, S. (1896). XXXI. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 41*(251), 237-276.

Bächtold, M. (2018). *Epistémologie et didactique de la physique. Des interrelations multiples et fécondes*. [Note de synthèse en vue de l'obtention de l'habilitation à diriger des recherches]. Université de Montpellier

Besson, U., Borghi, L., De Ambrosis, A., et Mascheretti, P. (2010). A Three-Dimensional Approach and Open Source Structure for the Design and Experimentation of Teaching-Learning Sequences : The case of friction. *International Journal of Science Education*, *32*(10), 1289-1313.

Besson, U., De Ambrosis, A., et Mascheretti, P. (2010). Studying the physical basis of global warming : Thermal effects of the interaction between radiation and matter and greenhouse effect. *European Journal of Physics*, *31*(2), 375.

Chavalarias, D., Bouchaud, P., Chomel, V., et Panahi, M. (2023). *Les nouveaux fronts du dénialisme et du climato-scepticisme*. https://hal.science/hal-03986798

Cochepin, M. (2022). *Conception et expérimentation d'une approche d'enseignement du réchauffement climatique. Quelles difficultés pour les élèves concernant l'émission et l'absorption d'un rayonnement par les gaz, et comment les prendre en compte ?* [Mémoire de Master 2] Université Toulouse Jean-Jaurès.

Colin, P., et Tran Tat, N. (2011). Difficile compréhension de l'effet de serre : Comment concevoir un parcours d'enseignement-apprentissage au lycée ? *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, *4*, Article 4. https://doi.org/10.4000/rdst.504

Dufresne, J.-L. (2020). *Principes de base de l'effet de serre*. Planet Terre. https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/principes-effet-serre.xml#serre

Dufresne, J.-L., et Treiner, J. (2011). L'effet de serre atmosphérique : Plus subtil qu'on ne le croit ! *La Météorologie*, *8*(72), 31. https://doi.org/10.4267/2042/39839

Gautier, C., Deutsch, K., et Rebich, S. (2006). Misconceptions about the greenhouse effect. *Journal of Geoscience Education*, *54*(3), 386-395.

Handayani, R. D., Prastowo, S. H. B., Prihandono, T., Putra, P. D. A., Bachtiar, R. W., Nuraini, L., Supriadi, B., Maryani, M., Bektiarso, S., et Lesmono, A. D. (2021). Students' thought pattern concerning the greenhouse effect. *Momentum: Physics Education Journal*, 21-28.

Intergovernmental Panel On Climate Change. (2021). *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis : Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (1re éd.). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157896

Kattmann, U., Duit, R., Gropengiesser, H., et Komorek, M. (1996). Educational reconstruction–bringing together issues of scientific clarification and students'

conceptions. *Annual meeting of the National Association of Research in Science Teaching (NARST)*.

Komorek, M., et Duit, R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education*, *26*(5), 619-633. https://doi.org/10.1080/09500690310001614717

Oreskes, N., et Conway, E. M. (2010). *Merchants of Doubt : How a Handful of Scientists Obscured the Truth on Issues from Tobacco Smoke to Global Warming* (Reprint édition). Bloomsbury Press.

Plé, E. (1997). Transformation de la matière à l'école élémentaire : Des dispositifs flexibles pour franchir les obstacles. *Aster*, *24*(24, p. 231). https://doi.org/10.4267/2042/8674

Romond, N., et Lusson, A. (2023). *Proposition d'enseignement à propos du réchauffement climatique : Comment amener les élèves à la compréhension de l'augmentation de la température liée à l'augmentation de la concentration en dioxyde de carbone dans l'atmosphère ?* [Mémoire de Master 2]. Université Toulouse Jean-Jaurès.

Shepardson, D. P., Choi, S., Niyogi, D., et Charusombat, U. (2011). Seventh grade students' mental models of the greenhouse effect. *Environmental Education Research*, *17*(1), 1-17.

Thollot, P., et Dequincey, O. (2021). *Rayonnement, opacité et effet de serre*. Planet Terre. https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/rayonnement-effet-de-serre.xml#experiences-fausses

Toffaletti, S., Di Mauro, M., Rosi, T., Malgieri, M., et Onorato, P. (2022). Guiding Students towards an Understanding of Climate Change through a Teaching–Learning Sequence. *Education Sciences*, *12*(11), 759. https://doi.org/10.3390/educsci12110759

Wagoner, P., Liu, C., et Tobin, R. (2010). Climate change in a shoebox : Right result, wrong physics. *American Journal of Physics - AMER J PHYS*, *78*, 536-540. https://doi.org/10.1119/1.3322738

Eléments de synthèse du symposium « Éducation au changement climatique : quelles approches didactiques ? »

Orange Ravachol Denise [(1)], Marchal-Gaillard Valérie [(2)]
[(1)] Univ. Lille, ULR 4354 - CIREL - Centre Interuniversitaire de Recherche en Éducation de Lille, F-59000 Lille, France
[(2)] CREAD (Centre de recherche sur l'éducation, les apprentissages et la didactique), EA 3875

Résumé

Depuis les années 2000, plusieurs circulaires adressées au monde scolaire et des aménagements des programmes d'enseignement précisent les enjeux et le cadre institutionnel de mise en œuvre de l'EDD. Ainsi la circulaire 2019 fait-elle de la lutte contre le réchauffement climatique et de la protection de l'environnement et de la biodiversité un enjeu majeur des prochaines décennies. Ces évolutions intéressent les recherches en didactique. Les rencontres de l'ARDiST 2022 en témoignent, en particulier le symposium intitulé « L'éducation au développement durable dans le contexte du changement climatique - Études en didactique des sciences et des technologies ». En nous appuyant sur les six contributions de ce symposium, nous tentons de dégager les lignes de force qui traversent ces recherches en didactique des sciences et des technologies sur les changements climatiques.

Introduction

Les sciences de la nature et la technologie, comme toutes les disciplines d'enseignement, sont concernées par l'Éducation au Développement Durable (EDD). Cela renouvelle leur

fonctionnement, dans ce qui leur est propre (les problèmes qu'elles prennent en charge, les démarches qu'elles privilégient, leur socle conceptuel), leur terrain d'intervention (ouverture de l'Ecole sur la société) mais aussi les croisements disciplinaires (pluri et interdisciplinarité). Depuis les années 2000, plusieurs circulaires adressées au monde scolaire et des aménagements des programmes d'enseignement précisent le cadre institutionnel de la mise en œuvre de l'EDD et ses enjeux : « La lutte contre le réchauffement climatique ainsi que la protection de l'environnement et de la biodiversité constituent un enjeu majeur des prochaines décennies » (circulaire 2019[39]). Ces évolutions intéressent les recherches en didactique. Les rencontres de l'ARDiST 2022 en témoignent, en particulier le symposium intitulé « L'éducation au développement durable dans le contexte du changement climatique - Études en didactique des sciences et des technologies », auquel se consacre notre synthèse. Comme leurs responsables, Patricia Marzin-Janvier et Séverine Perron le précisent : ce symposium **«** vise à mettre en visibilité les travaux en didactique des sciences portant sur des dispositifs d'éducation au développement durable dans un contexte d'urgence climatique » et « à faire émerger les problématiques travaillées et à envisager la place que pourrait prendre la didactique des sciences dans ce contexte évolutif ». En nous appuyant sur les 6 contributions de ce symposium, nous tentons de dégager les lignes de force qui traversent les recherches en didactique des sciences et des technologies sur les changements climatiques.

Les changements climatiques, un champ renouvelé de problèmes pour les recherches en didactique des sciences

Au début des années 1990, Johsua et Dupin (1993, p.395) écrivaient que :

> « Les travaux de didactique de ces dernières années ont surtout cherché comment il était possible d'aborder un des problèmes majeurs de l'apprentissage scientifique qui apparaît être le suivant : comment obtenir qu'un élève se bâtisse des rapports nouveaux à des savoirs

[39] https://www.education.gouv.fr/bo/19/Hebdo31/MENE1924799C.htm

> nouveaux, ceci à partir de rapports anciens à des savoirs anciens, alors que ces derniers peuvent – de par leur efficacité même – se constituer en obstacles à l'évolution nécessaire ? »

C'est une question qui reste d'actualité avec la prise d'importance, au début des années 2000, des « Educations à », dont l'éducation aux changements climatiques. Les problèmes scientifiques travaillés avec les élèves sont de plus en plus anthropisés et pluridimensionnels (en plus des aspects scientifiques, ils intègrent des dimensions sociales, économiques et culturelles). Ils conjuguent des échelles spatiales et temporelles variées (notamment des projections manifestes vers le futur quand leurs préoccupations jusqu'alors concernaient la reconstitution du passé de la Terre et des vivants). Ils conduisent à des concepts complexes (biodiversité, effet de serre, etc.) et à des contenus hybrides, parce qu'à la fois académiques et non académiques, et pour partie controversés (Lange, 2016 ; Orange et Orange Ravachol, 2017 ; Gibert, 2020). Ajoutons à cela qu'ils constituent un levier vers des actions raisonnées visant l'adaptation et/ou l'atténuation des conséquences des modifications climatiques.

C'est sous l'angle des problèmes, des savoirs et des pratiques de savoir que nous mettons d'abord à l'étude les différentes contributions du symposium. Nous questionnons ensuite leurs caractéristiques dès lors qu'elles portent sur de nouveaux dispositifs (sciences participatives éducatives, écoles du dehors), nouveaux dispositifs qui installent des porosités entre l'Ecole et la société, et articulent le temps de l'étude et le temps de l'action. Nous verrons enfin de quelle manière ces contributions approchent et interrogent la formation des enseignants et des ingénieurs au regard de ces évolutions.

Les recherches en didactiques des sciences sous l'angle des problèmes, des savoirs et des pratiques de savoir

En premier lieu, l'analyse de l'ensemble des contributions nous invite à porter notre regard sur le traitement épistémologique et didactique de la question complexe des changements climatiques, et à nous attarder sur les défis que pose l'enseignement des questions qui s'y rapportent. Pour cette synthèse nous nous positionnons dans le cadre de l'apprentissage par problématisation d'où notre focalisation sur les problèmes et les savoirs en jeu, et leur construction, tels que les différentes contributions du symposium les présentent.

Des problèmes complexes flous, pernicieux, super-pernicieux

La prise en charge de questions socio-scientifiques telles que les changements climatiques implique de repenser les problèmes et les objets propres aux sciences qui y sont convoqués. Ceux-ci en effet ne recouvrent plus exactement chacun des domaines académiques constitués et stabilisés et, comme l'indiquent Hanaà Chalak et Malou Delplancke, en référence à Fabre (2021), relèvent de décisions éthiques et politiques, ce qui sur le plan épistémologique les éloignent du traitement des problèmes de type « cartésien ». La complexité inhérente à ces problèmes tient dans la multiplicité des cadres scientifiques, des types de savoirs et des démarches mis en jeu (Simonneaux et al., 2009 ; Legardez, 2017), de leur vivacité potentielle (dans la société ; au regard des savoirs de référence ; dans le monde de l'éducation et de la formation), mais aussi par les incertitudes qui les traversent, qu'il s'agit de questionner et d'ériger comme principe de connaissance.

La caractérisation du ou des problèmes du changement climatique n'est pas des plus aisées. Hanaà Chalak et Malou Delplancke reprennent les dénominations introduites par Fabre (2014, 2021) : « Il se pose plutôt comme un problème mal structuré, flou et même pernicieux, voire super-pernicieux ». Ces termes disent la complexité de ces problèmes et leur nombre la difficulté à la saisir, en particulier à l'École, quand il s'agit aussi, la concernant, de tenir des exigences épistémologiques fortes et des enjeux socio-politiques et éducatifs tout aussi importants. En rester à la qualification de mal structuré, de flou, à l'existence de solutions multiples et aux données incomplètes, peut exposer enseignants et élèves à deux types d'obstacles symétriques : 1) un réductionnisme scientifique et technique ; 2) une hypertrophie de leur dimension axiologique au détriment des aspects scientifiques et techniques (Fabre, 2011 ; Orange Ravachol, 2014). Pour aller au plus près de ce que sont ces problèmes, les qualificatifs de pernicieux et de super pernicieux ont été introduits. Selon Fabre (2021, p. 93), ils se déclinent selon 5 dimensions : complexité, polysémie, conflictualité potentielle, temporalité critique, ouverture ou absence de solution.

Des problèmes complexes où le rapport au temps est renouvelé

Jusqu'alors, dans les programmes d'enseignement des sciences de la vie et de la Terre, les problèmes scientifiques s'occupaient d'expliquer et d'articuler les dynamiques terrestres externes et internes actuelles et de reconstituer celles du passé. Les changements climatiques anciens en faisaient partie. Désormais les enjeux relatifs aux changements climatiques qui semblent marquer le présent obligent à se projeter vers le futur, à recourir à des échelles de

temps dépassant celles habituellement mobilisées par des études de prospective, et à prendre en compte une diversité de futurs possibles. Comme le soulignent Sébastien Turpin et Corinne Fortin, une approche systémique poussée de ces problèmes suppose des démarches réflexives intégrant et articulant des échelles de temps et d'espaces multiples. Le contexte spécifique du système scolaire, de même que les prescriptions institutionnelles, n'y engage que modestement, d'une part parce qu'il tend à limiter les fonctions du temps à de la chronologie, de la durée, et de l'événementiel *ad hoc*, ce qui signifie faire fi de la construction du temps long ou de l'événement vus comme des nécessités et de la prise en compte de la contingence (Orange-Ravachol, 2012) ; d'autre part, parce que l'organisation des enseignements scolaires compartimente le travail des problèmes complexes et compromet leur prise en charge globale. Pourtant, c'est la complexité et l'articulation des formes de temps qu'il faudrait apprendre à décrypter et à comprendre pour mieux cerner l'éducation aux changements climatiques.

La nature des savoirs

De par la complexité, la multi dimensionnalité et la teneur en indétermination des problèmes pris en charge par les « Educations à », il est difficile de caractériser les savoirs scientifiques en jeu. Ces savoirs sont en effet hybrides, et objets de controverses et de discussions dans la communauté des chercheurs (Berrios et Barthes, 2015, p. 71), à l'inverse de ceux habituellement construits dans le cadre des programmes des disciplines scientifiques. De plus, la forme scolaire dominante « suppose que l'on enseigne des savoirs stables, correspondant à l'état du savoir à un moment donné et mis à la portée des élèves » (Fabre, 2015, p. 26). Dans leur contribution, Hanaa Chalak et Malou Delplancke évoquent la nécessité d'ériger également en contenus, en plus du savoir scientifique, le doute, le débat et la controverse. Si la notion de contenus paraît commode pour dire l'ensemble de ce qui est à connaître et à maîtriser, elle n'en appelle pas moins un certain nombre de questions sur ce qui structure la totalité et la diversité de leurs éléments constitutifs. Nous donnons pour preuve ce que développent Séverine Perron et *al.* dans leur contribution. Ils optent pour la notion de contenu qu'ils déclinent d'abord en savoirs conceptuels, habiletés, savoirs épistémologiques et valeurs puis dans l'étude qu'ils font des séquences des enseignantes, en contenus de la dimension disciplinaire, de la dimension épistémologique, de la dimension sociale.

Valentin Maron et *al.* interrogent d'une autre manière la question des savoirs scientifiques en jeu. Leur réflexion porte sur l'accessibilité et l'appropriation de références empiriques explicites par des élèves suivant un cursus d'enseignement non spécifiquement orienté vers la physique, afin de construire le lien entre concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et température moyenne de la Terre. Ils montrent la nécessité d'une telle entreprise tant la conception d'une singularité des propriétés des gaz par rapport à celles des solides est répandue et récurrente, notamment lorsqu'il s'agit de considérer leurs interactions avec le rayonnement. Leur contribution pointe aussi le fait que l'effet de serre, en tant que concept complexe de la physique, n'est pas pris en charge explicitement dans ce contexte disciplinaire, mais plutôt porté par l'enseignement des SVT. Ils constatent enfin que les propositions d'enseignement existantes sont largement alimentées par des discours narratifs dans lesquels il n'existe que peu ou pas de référence à la physique des transferts radiatifs dans les gaz, qui sont pourtant au cœur du phénomène de l'effet de serre. Ils mettent ainsi en valeur la nécessité d'une transposition didactique, qui n'a rien d'évident, des savoirs mais aussi celle des problèmes et des pratiques de la sphère scientifique vers le monde de la classe, et ils proposent de déplacer le travail de l'effet de serre vers l'établissement de la relation entre l'augmentation de la quantité de CO2 contenu dans l'atmosphère à l'augmentation de la température moyenne terrestre.

Plusieurs des contributions du symposium témoignent donc de la difficulté à caractériser les savoirs, contenus et démarches impliqués dans l'éducation aux changements climatiques. De plus, leur complexité et leur part d'incertitude peut mettre à mal leur légitimité dans l'enseignement et conséquemment obliger les « éducations à » à se rabattre sur la sphère des comportements individuels et des petits gestes aux dépens d'une prise en charge plus systémique. Il ne s'agit pas non plus d'afficher de l'interdisciplinarité, au risque qu'elle ne soit que « de façade ». Il s'agit d'appréhender une situation complexe appelant une problématisation, voire une prise de décision, à partir d'une réflexion scientifique étayée et critique.

Les recherches en didactique des sciences sous l'angle des nouveaux dispositifs à l'interface de l'Ecole et de la société

Les ouvertures de l'Ecole vers la société

Les contributions de Séverine Perron et *al.* et de Sébastien Turpin et Corinne Fortin s'intéressent à de nouveaux dispositifs à l'interface de l'Ecole et de la société. Il s'agit respectivement d'un exemple de pédagogie par la nature, proposée dans les *forest schools,* où l'éducation non formelle peut interagir avec de l'éducation formelle ; d'un projet de recherche collaborative, *EDU OakBodyguard,* mobilisant trois classes de collège et des chercheurs de l'INRAE[40] et du dispositif de sciences citoyennes « Vigie-Nature École » (VNE) porté par le Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN) et conduit dans des classes de seconde. Ces contributions conduisent à se demander de quelle manière ces projets intègrent une approche systémique du problème des changements climatiques, ce que peuvent apprendre les élèves et ce qu'ils peuvent apprendre de plus que dans le contexte scolaire. Force est de constater que les liens qu'entretiennent ces dispositifs avec les changements climatiques ne sont pas d'emblée évidents et que s'ils existent, ils sont quelque peu forcés et/ou ponctuels au regard de l'empan du problème climatique.

Le dispositif Vigie Nature Ecole se présente comme un exemple de sciences participatives. Historiquement issues de la pensée de Dewey et de l'héritage des *community based participatory researches* de Freire dans les années 1970, ces sciences traduisent un rapprochement entre science et sociétés, principalement dans les domaines de protection de l'environnement. Leur existence et leurs démarches semblent particulièrement pertinentes dans le contexte de l'éducation aux changements climatiques, où les sciences peuvent être considérées comme coupées des problèmes sociétaux. L'exemple proposé porte sur la biodiversité. Il articule l'identification, le dénombrement et le suivi d'oiseaux des jardins, dans un espace délimité, à l'examen critique d'un dossier fictif, tel qu'il pourrait être soumis à une municipalité, portant sur un projet susceptible de porter atteinte à la biodiversité. Si, comme dans l'exemple précédent, le lien avec les changements climatiques est ténu, les

[40]Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

types de raisonnement convoqués dans cette situation (raisonnements systémiques et socio-scientifiques) peuvent y préparer.

Le projet *EDU Oak bodyguard* dont il est question dans le symposium « cherche à déterminer comment le climat influence les dégâts causés par les insectes herbivores sur le chêne pédonculé Quercus robur ». Il correspond à un dispositif de sciences collaboratives et montre que les orientations disciplinaires des enseignants peuvent être variées, sans forcément se caler sur des préoccupations climatiques et sociétales (seule une des trois enseignantes s'en empare avec la problématique suivante « Comment le réchauffement climatique peut-il modifier la croissance des chênes ? »). Si le but est « d'éclairer les potentialités des projets de sciences participatives à destination des élèves en termes d'éducation à la durabilité », il ressort de cette étude que cela ne va pas de soi, que des repères épistémologiques et didactiques sont à préciser, sous peine d'une dispersion des problématiques, de situations d'apprentissage épistémiquement peu denses et d'une limitation de leurs visées éducatives.

Les relations entre l'Ecole et le monde de la recherche scientifique

La collaboration Ecole-société peut aussi exister dans des relations qui s'installent entre les enseignants, leur classe et des chercheurs ; elle répond en cela à une attente institutionnelle forte. C'est le cas pour les projets *EDU OakBodyguard* et Vigie Nature Ecole. Ce qui étonne tient d'une part dans les rôles qu'y prennent les chercheurs et d'autre part dans ce qui ressort de leur épistémologie et de celle des enseignants. Dans le dispositif *EDU OakBodyguard*, les scientifiques outillent le monde de la classe par un protocole qu'il s'agit de « suivre rigoureusement ». Le dispositif Vigie Nature « conçoit aussi des protocoles pour le public scolaire (Conversy, Dozières et Turpin, 2019) de la maternelle au lycée, avec le dispositif VNE ». Pour collecter des données sur la biodiversité ordinaire, il a mis en place « dix observatoires accompagnés de protocoles standardisés qui permettent d'étudier des groupes taxonomiques variés (insectes pollinisateurs, oiseaux, flore urbaine…) ». Dans ces deux cas, on assiste à un mouvement « top down » des scientifiques vers les enseignants. Les premiers fournissent aux seconds un protocole peu explicite quant à son mode de construction et quant à l'exploitation scientifique globale des résultats de son application. Une sorte de « boîte noire » qui pourrait placer les enseignants et les classes dans une fonction d'exécutants. On voit combien la charge de transposition didactique qui incombe aux enseignants peut alors se décliner de différentes manières et pas forcément dans une logique d'articulation aboutie

des sciences et des problèmes sociétaux. Ces deux contributions soulignent aussi la nécessité d'une interconnaissance des pratiques et des contraintes réciproques des chercheurs et des enseignants. Le découpage de l'année scolaire et la nécessité « d'avancer dans le programme » font que la recherche et l'enseignement ne suivent pas les mêmes temporalités. Certes, prendre conscience que la recherche prend du temps peut aussi faire partie de l'éducation scientifique. Mais celle-ci suppose aussi pour les élèves d'aller au-delà de la collecte de données pour des chercheurs et de se construire en sujet et citoyen cultivé critique.

Notons enfin que l'engagement des élèves dans des actions collectives (militantes ?) à l'issue de leur participation aux dispositifs Vigie Nature Ecole et *EDU Oak Bodyguard* est discuté. Sébastien Turpin et Corinne Fortin soulignent en effet que seule une minorité d'élèves se sont déclarés prêts à s'engager dans une association de protection de la biodiversité à l'issue de leur participation au programme Vigie Nature Ecole. Ces dispositifs ne risquent-ils pas, eux aussi, de favoriser des actions d'individuelles ? Et comment ramener alors une dimension sociale et collective ? Dépasser l'intérêt individuel pour prendre en compte l'intérêt collectif ne va pas de soi. Cette perspective sous-entend le passage du « faire tout seul » au « faire ensemble ». Elle résulte d'un apprentissage éthique et cognitif complexe.

Les recherches en didactique des sciences sous l'angle de la formation des enseignants et des ingénieurs

Il y a un enjeu social majeur à viser une participation démocratique aux débats publics, aux procédures d'évaluation et aux prises de décisions en matière technoscientifique. Les processus d'enseignement, de recherche et d'expertise ne sont pas neutres et l'explicitation des présupposés et fondements théoriques, mais également idéologiques des discours scientifiques ou experts est une condition essentielle pour en développer un usage critique et démocratique. Comment former les jeunes à développer cette posture réflexive critique sur des questions socio-scientifiques dans le cadre formel ou non formel ? Les recherches en didactiques des sciences et des technologies gagnent aussi à questionner ces aspects sous l'angle de la formation des enseignants et des ingénieurs, ce à quoi s'emploient indirectement ou directement certaines des contributions du symposium.

Perspectives relatives à la formation des enseignants

Au-delà des disciplines scolaires traditionnelles, le problème des changements climatiques déborde d'un unique champ disciplinaire (les sciences) pour en croiser plusieurs (géographie, sciences économiques et sociales, …). Il en est de même du côté des scientifiques et des experts. Qui plus est, il prend place dans le contexte éminemment politique du développement durable ou de la transition écologique. Cela oblige à réfléchir aux visées, aux buts (en termes de construction de savoirs et d'actions) et aux conditions de fonctionnement de groupes interdisciplinaires dans le monde scolaire ou scientifique, et de recherches collaboratives qui rassemblent des enseignants et des enseignants chercheurs (scientifiques spécialistes d'un domaine, chercheurs didacticiens ; voir les projets Vigie Nature Ecole et EDU *Oak Bodyguard*). Est-il nécessaire que ces structures se dotent d'une culture commune à tous les participants et si oui laquelle ? Faut-il ce minimum culturel pour penser des transpositions didactiques et des circulations de problèmes et de concepts entre ces différents mondes ? Des travaux en didactique des sciences soulignent l'importance d'une assise épistémologique solide sur la question de l'évolution climatique (Orange et Orange Ravachol, 2017) en même temps que d'autres travaux renouvellent les approches des ingénieries coopératives (Morales, Sensevy et Forest, 2017). En cela, ils fournissent des repères pour les formations initiales et continue des enseignants.

Perspectives relatives à la formation des ingénieurs

La communication de Nicolas Hervé et de Julitte Huez oriente vers la formation d'experts que sont les ingénieurs. Le cas étudié porte sur la thématique du traitement des déchets dans le contexte de différents scénarii de futurs climatiques et technologiques. La projection dans un monde futur devrait permettre à ces élèves ingénieurs d'examiner et de problématiser leurs points de vue et préoccupations concernant des questions socio-scientifiques et sociotechniques, en leur donnant la possibilité d'évaluer les impacts des sciences et des techniques sur la société, d'identifier des dilemmes éthiques, et d'explorer des pistes possibles de solution. Bien que les scénarii soient fictifs et qu'ils aient pour ambition de projeter les étudiants dans un futur éloigné, ces derniers éprouvent des difficultés à appréhender le monde en changement : les pratiques et les solutions qu'ils proposent restent finalement ancrées dans leur quotidien. La difficulté des étudiants à articuler différentes temporalités, que soulignent Nicolas Hervé et Julitte Huez, d'une part fait écho et prolonge des travaux en didactique des sciences sur les rapports aux temps des apprenants (en sciences

physiques, Viennot, 1996 ; en sciences de la Terre, Orange Ravachol, 2012) et d'autre part ouvre sur des points cruciaux à réfléchir pour la formation des ingénieurs et des enseignants.

Conclusion

La question de l'Education au développement durable dans le contexte du changement climatique n'est pas une mince affaire, et les missions qui incombent à l'Ecole deviennent de vrais défis. Le projet éducatif de l'Ecole vise en effet tout autant la formation de citoyens éclairés que des transformations de la société, ce qui implique des changements de rapport au monde, à l'être humain et au savoir (Curnier, 2017). Les différentes contributions de ce symposium, que nous avons étudiées et mises en comparaison sous l'angle des problèmes, des savoirs en jeu, et de leur construction (le cadre de l'apprentissage par problématisation), questionnent des facettes de cet ensemble dans une logique compréhensive mais sans que l'on puisse y reconnaître d'emblée une unité. Pourtant, en revenant aux fondamentaux des didactiques, nous pouvons y voir explicitement ou implicitement la nécessité mais aussi la difficulté de spécifier les problèmes, les savoirs scientifiques et les démarches en jeu, le renouvellement et les transformations qu'ils subissent, les conditions de leur circulation entre mondes, entre institutions, entre individus. Les recherches en didactique des sciences et des technologies, dans la diversité de leurs approches théoriques, épistémologiques et méthodologiques, n'en sont que plus indispensables.

Bibliographie

Berrios, A. et Barthes, A. (2015). Spécificités disciplinaires dans la mise en œuvre de l'éducation au développement durable au Chili. In J.-M. Lange (Éd.), *Actes du colloque « Les "éducations à ...", levier(s) de transformation du système éducatif ? » 17-19 novembre 2014, Mont Saint Aignan* (71-85). Université de Rouen Normandie. https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01183403

Conversy, P., Dozières, A. et Turpin, S. (2019). Du naturaliste expert à l'élève : Enjeux de la diversification des objectifs d'un programme de sciences participatives en France. *Éducation relative à l'environnement. Regards-Recherches-Réflexions, 15*(1).

Curnier, D. (2017). Éducation et durabilité forte : considérations sur les fondements et les finalités de l'institution. *La Pensée écologique* 2017(1), 252-271. https://www.cairn.info/revue-la-pensee-ecologique-2017-1-page-252.htm

Fabre, M. (2021). Problématologie des questions socialement vives. Repères épistémologiques pour l'école. *RFP*, 210, 89-99. https://www-cairn-info.ressources-electroniques.univ-lille.fr/revue-francaise-de-pedagogie-2021-1-page-89.htm

Fabre, M. (2015). *Éducation et humanisme. Lecture de John Dewey*. Vrin.

Fabre, M. (2014). Le flou des questions socialement vives. Dans Fabre, M., Weil-Barais, A. et Xypas, C. (dir). *Les problèmes complexes flous en éducation*. De Boeck.

Gibert, A.-F. (2020). Apprendre en Anthropocène. Eduquer à la biodiversité. *Dossier de veille de l'Ifé*. Septembre 2022. https://veille-et-analyses.ens-lyon.fr/DA/detailsDossier.php?parent=accueil&dossier=999&lang=fr

Johsua, S. et Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. PUF.

Lange, J.-M. (2016). Enseigner des savoirs incertains, hybrides et complexes Quelles mutations professionnelles pour les enseignants ? *Spirale - Revue de recherches en éducation*, n°58, 145-158. https://www.cairn.info/revue-spirale-revue-de-recherches-en-education-2016-2-page-145.htm

Legardez, A. (2017). Questions socialement vives (QSV). Dans Barthes, A., Lange, J.-M. et Tutiaux-Guillon, N. (2017) Dictionnaire critique des enjeux et concepts des « éducations à ». L'Harmattan.

Morales, G., Sensevy, G. et Forest, D. (2017) About cooperative engineering: theory and emblematic examples. *Educational Action Research*, 25(1), 128-139.

Orange Ravachol, D. (2014). Les « Éducations à » et les sciences de la nature : entre dédisciplinarisation et redisciplinarisation. *Éducation et socialisation,* 36. https://journals.openedition.org/edso/903

Orange Ravachol, D. (2012). *Didactique des sciences de la vie et de la Terre. Entre phénomènes et événements*. PUR.

Orange, C. et Orange Ravachol, D. (2017). Problématisations scientifiques fonctionnalistes et historiques en éducation relative à l'environnement et au développement durable. Le cas de l'évolution climatique. *Revue des HEP et institutions assimilées de Suisse romande et du Tessin*, 22, 21-38. http://revuedeshep.ch/pdf/22/22-02-Orange-Orange-Ravaloch.pdf

Simonneaux, L. et Simonneaux, J. (2009). À la croisée des questions socialement vives et du développement durable : étude de la relation alimentation-environnement avec des enseignant(e)s. *Didaskalia*, 34, 67-104. https://www.persee.fr/doc/didas_1250-0739_2009_num_34_1_893

Viennot, L. (1996). *Raisonner en physique – La part du sens commun.* De Boeck.

Partie 4 : Pratiques d’enseignement

Analyse de l'action didactique conjointe lors de l'enseignement et l'étude de la grandeur concentration massique au début du secondaire tunisien

Mahjoub Afifa [(1)], Ben Kilani Chiraz [(2)]
[(1)] Education, Cognition, TICE et Didactique, ISEFC – Tunisie
[(2)] Institut Supérieur de l'Éducation et de la Formation Continue – Tunisie

Résumé

Cet article s'intéresse aux conditions didactiques dans lesquelles la grandeur concentration massique est abordée en classe. L'analyse des pratiques qui mettent en œuvre l'avancée de ce savoir en classe mobilise un cadre théorique alliant le modèle de l'action didactique considérée comme conjointe et un positionnement épistémologique relatif au fonctionnement du savoir dans la compréhension du monde matériel. La séance filmée est une séance de travaux pratiques de chimie assurée par une enseignante expérimentée et se déroulant en demi-classe de première année du secondaire tunisien. Les résultats montrent le rôle que l'enseignante et l'élève ont dans l'avancée des savoirs ainsi que la nature des liens établis (ou non) entre les différents éléments du savoir en jeu.

Introduction

La concentration en soluté caractérise une solution et permet de déterminer sa composition. Les chimistes utilisent plusieurs expressions pour l'exprimer comme par exemple (IUPAC, 2014) :

- La concentration massique (unités : g/L ou kg/m3) qui rapporte la masse de soluté au volume de solution.
- La concentration molaire (unités : mol/L ou mol/m3) qui est le rapport entre la quantité de matière de soluté et le volume de solution.
- Le pourcentage massique (ou volumique) qui est le résultat exprimé en pourcent du rapport entre la masse de soluté (ou le volume de soluté) et la masse de solution (ou le volume de solution).

De ces différentes expressions, il ressort particulièrement l'idée que la concentration correspond à une proportion[41] de soluté dans la solution et non le solvant.

Cet article s'intéresse aux conditions didactiques dans lesquelles la grandeur concentration massique d'un soluté dans une solution est abordée en classe dans un contexte particulier de l'enseignement tunisien, celui où les élèves abordent, pour la première fois, le lycée et l'enseignement scientifique en langue française.

Examiner une situation ordinaire d'enseignement dans laquelle cette grandeur est introduite peut permettre de décrire, à des fins de compréhension, les pratiques d'enseignement qui concourent à l'avancée de ce savoir.

Partant de l'idée que pour mieux décrire la dynamique complexe de l'action didactique *in situ* il est nécessaire de prendre en considération les différents évènements se déroulant selon différentes temporalités, nous avons choisi de mener l'analyse de cette action à trois échelles différentes.

[41] Ici, la proportion est comprise comme une partie (le soluté) de l'ensemble (la solution et non le solvant).

Nous commençons par définir ces niveaux d'analyse en explicitant les outils théoriques sollicités pour chacune afin de construire nos questions de recherche et conduire nos analyses.

Outils théoriques

Pour enrichir la description d'un objet d'étude il est nécessaire selon Lemke (2000) d'articuler différentes échelles d'analyse. Pour cela, nous avons choisi de mener l'analyse de l'action didactique en classe à trois échelles différentes, d'abord mésoscopique (Niveau N), ensuite microscopique (Niveau N-2) et enfin, un niveau intermédiaire entre les deux (Niveau N-1) (Venturini et Tiberghien, 2018).

Outils théoriques mobilisés à l'échelle mésoscopique (Niveau N)

L'échelle mésoscopique concerne des évènements qui se produisent sur quelques minutes à quelques dizaines de minutes. Elle peut correspondre au rythme du changement d'activités dans la classe. À cette échelle, nous nous inscrivons dans le modèle théorique de l'action didactique considérée comme conjointe professeur/élèves (ADC) et nous mobilisons le concept de jeu didactique (JD) adapté à cette catégorie d'événements (Amade-Escot et Venturini, 2009 ; Schubauer-Leoni et al., 2007 ; Sensevy et Mercier, 2007). L'action didactique est considérée comme conjointe au sens où le système enseignant-élève-savoir est indivisible, c'est-à-dire qu'on ne peut pas comprendre l'action de l'élève sans prendre en compte l'action du professeur et réciproquement, actions toutes deux relatives au savoir en jeu. Elle est aussi non symétrique et dynamique et peut être considérée comme une suite de jeux didactiques.

L'enseignant définit le jeu, associé à un enjeu de savoir, en précisant la manière dont il sera joué. Il le dévolue de sorte que l'élève prenne la responsabilité de résoudre la tâche. Il le régule en modifiant adroitement le milieu pour que l'élève se rapproche de la solution. Finalement, il l'institutionnalise en formalisant le savoir établi. Définition, dévolution, régulation et institutionnalisation constituent le « quadruplet de techniques professorales » (Sensevy, 2007).

La dynamique de l'action au cours du JD peut être décrite en termes de mésogenèse, topogenèse et chronogenèse.

La mésogenèse

Elle renvoie à l'évolution du milieu au fur et à mesure que les savoirs avancent sous l'effet de l'action conjointe en relation avec les significations que prennent pour les acteurs les objets (symboliques, matériels et langagiers) qui le composent (Amade-Escot et Venturini, 2009). Nous décrivons cette évolution en nous appuyant sur une typologie de techniques observables mises en œuvre principalement par le professeur (Schubauer-Leoni et al., 2007, p. 59) comme par exemple la dénomination / désignation d'objets matériels, langagiers ou symboliques par ostension physique et/ou verbale et l'introduction de consignes et d'injonctions.

La topogénèse

Elle renvoie à « l'évolution du partage des responsabilités vis-à-vis du savoir au cours du temps » (Sensevy, 2007, p. 32) :

- Le professeur peut assumer la responsabilité de faire avancer les savoirs en adoptant une position topogénétique haute.
- Cette responsabilité peut être assumée par l'élève par exemple par l'introduction d'éléments pertinents.
- Enfin la topogenèse peut être « partagée » si le professeur et l'élève introduisent tous les deux des éléments significatifs dans l'avancée du savoir.

La chronogenèse

Ce descripteur est associé à la modification du savoir au cours du temps. De cette dynamique émerge la notion d'avancée du savoir.

Nous distinguons pour la chronogenèse trois modalités :

- Rapide : si on repère l'introduction successive de nombreux éléments de savoir pertinents au regard de l'institutionnalisation visée dans un laps de temps court au regard du développement de la leçon.
- Lente : si un ralentissement accompagne l'action de structuration des éléments de savoirs. Cela se traduit par la présence des principaux éléments du savoir en jeu dans le milieu mais sans qu'ils soient structurés entre eux.
- Arrêtée : lorsque les éléments du savoir visé sont absents des échanges.

Ces trois genèses évoluent ensemble. En effet, « à chaque état de la mésogenèse correspond un état de la topogenèse et un état de la chronogenèse au regard des savoirs en jeu » (Amade-Escot et Venturini, 2009, p. 29).

Ces dynamiques perceptibles à l'échelle mésoscopique sont associées à des évènements survenant à des échelles inférieures ; microscopique dont la description mobilise des outils spécifiques, et intermédiaire dont la description peut être faite avec les outils mobilisés à l'une ou l'autre des deux échelles précédentes.

Outils théoriques mobilisés à l'échelle microscopique (Niveau N-2)

Partant de l'idée que l'action didactique est essentiellement communicationnelle et que l'objet de communication est le savoir en jeu, nous prenons comme unité d'analyse l'acte de savoir (ou l'ensemble d'actes) essentiellement verbal (de durée de quelques secondes) ayant un sens de point de vue du savoir en jeu (Tiberghien et Venturini, 2015). À l'acte identifié est associée une facette de connaissance construite à partir d'énoncés du professeur ou de l'élève qui mettent en jeu un élément de savoir (Minstrell, 1992). Celui-ci peut être correct ou incorrect du point de vue du savoir à enseigner.

Rappelons que nous nous intéressons à un savoir de chimie. Pour cela, nous adoptons un point de vue épistémologique qui place l'activité de modélisation au cœur de cette science expérimentale. Notre choix a porté sur le processus de modélisation à l'œuvre dans la théorie des deux mondes, le monde des théories et modèles d'une part et le monde des objets et événements d'autre part (Tiberghien et Vince, 2005). En effet, cette théorie peut servir dans l'analyse du fonctionnement du savoir dans la compréhension du monde matériel. Elle inclut le point de vue de la chimie, mais aussi celui plus naïf que les élèves ont construit dans la vie de tous les jours. La construction du sens pour un savoir scientifique se fait, d'après cette théorie, par des mises en relation entre les différents éléments de ce savoir :

- Relations au sein du monde des objets et événements, que la description d'une situation matérielle soit scientifique ou qu'elle relève de la vie quotidienne.
- Relations au sein du monde des théories et modèles, que ceux-ci relèvent du savoir de la chimie ou qu'ils prennent le savoir quotidien comme référence.
- Relations entre les deux mondes.

Ce point de vue épistémologique sur le fonctionnement du savoir façonne notre analyse du savoir enseigné dans la classe et contribue à caractériser la chronogenèse en termes de continuité et discontinuité. En effet, nous considérons qu'une continuité du savoir (ou une discontinuité) est assurée à travers la construction (ou non) des liens, d'une part en mobilisant le point de vue de la chimie, lors du passage du monde des objets et événements (monde des observables ou aussi appelé monde empirique) au monde des théories et modèles, ou encore au sein d'un même monde, et d'autre part lorsqu'il s'agit dans l'expression de ces liens, de passer d'un point de vue quotidien au point de vue scientifique de la chimie.

La facette, ainsi caractérisée par sa situation épistémologique (relève-t-elle du monde des objets et évènement ou de celui des théories et modèles ou encore met-elle en relation ces deux mondes), est aussi caractérisée par :

- la tâche épistémique qu'elle met en œuvre qui est selon Tiberghien et al. (2005) l'opération de pensée associée à la manipulation du savoir. Elle peut être une description empirique ou théorique, une interprétation, une définition, etc.
- Le ou les acteur(s) qui la produisent : l'enseignant, l'élève ou les deux.

En effet, la précision pour chaque facette de l'auteur et de la tâche épistémique mise en œuvre rend compte de la contribution des élèves et de l'enseignant dans la manipulation du savoir et aide à préciser la topogenèse et la mésogenèse. La manière dont la facette se situe par rapport à la modélisation et son inscription thématique aident à préciser la chronogenèse et notamment ses continuités et discontinuités en lien avec le fonctionnement du savoir du point de vue de la modélisation.

Outils théoriques mobilisés au niveau N-1

À cette échelle nous considérons des épisodes dont la durée varie de quelques secondes à quelques minutes et qui constituent la plus petite unité temporelle ayant du sens du point de vue didactique. À ce titre ces épisodes sont centrés sur des enjeux de savoir locaux, et on peut les considérer comme étant des jeux didactiques élémentaires (JE) se déroulant au niveau N-1. Le JE peut être ainsi caractérisé à l'aide des descripteurs des JD (niveau N) mais aussi à l'aide des descripteurs des actes de savoir (niveau N-2) puisqu'il peut être considéré comme un ensemble d'actes ayant du sens par rapport au savoir en jeu.

Problématique

La concentration d'un soluté dans une solution est un objet d'enseignement incontournable. En Tunisie, son enseignement commence au collège en langue arabe puis elle est étudiée en français dans les classes de la 1ère année du lycée (grade 10) (MET, 2010).

Le programme officiel (PO) qui régit l'enseignement des sciences physiques et chimiques depuis 2010 engage les enseignants du secondaire dans des pratiques constructivistes basées sur la démarche scientifique dans le but de rendre l'élève actif dans la construction du savoir.

Le PO insiste aussi sur le caractère expérimental des sciences physiques et chimiques en mettant l'accent sur le rôle important de la modélisation.

Ces prescriptions sont mises en application par le seul manuel scolaire autorisé par le ministère et dans lequel la grandeur « concentration massique » est introduite par des expériences basées sur l'idée d'une comparaison du goût ou d'intensité de teinte de différentes solutions aqueuses (Dhaha et al., 2014).

Cette grandeur met en jeu un réseau de notions comme, par exemple, la proportion de soluté dans la solution qui est considérée comme une notion complexe mais aussi une notion clé pour son appréhension (Willame, 2017, p. 71).

Cependant, si plusieurs travaux se sont intéressés aux difficultés de son apprentissage (par exemple Gandillet et Le Maréchal, 2003 ; Tsoumpelis et Gréa, 1995 ; Willame, 2017), la manière dont cette grandeur est enseignée en classe reste peu documentée.

Examiner une situation ordinaire d'enseignement dans laquelle cette grandeur est introduite peut permettre de décrire, à des fins de compréhension (Bru, 2002), les pratiques d'enseignement et d'étude correspondantes.

Nous nous intéressons aux conditions didactiques dans lesquelles cette grandeur est abordée en classe dans le but de répondre à la question suivante : Comment la définition de la grandeur « concentration massique d'un soluté dans une solution » est-elle construite en classe ?

Nous étudions l'évolution du savoir à travers l'étude de la dynamique de l'action didactique en répondant à la question suivante :

- Quelles sont les caractéristiques de l'action didactique considérée comme conjointe en termes d'évolution du milieu, des responsabilités et du savoir au cours du temps ?

Nous précisons plus finement ces différentes dynamiques en cherchant particulièrement à caractériser les liens qui s'établissent (ou non) entre les différents éléments du savoir (sont-ils relatifs au passage du monde des objets et événements au monde des théories et modèles ou au sein d'un même monde) à travers notre réponse à la question suivante :

- Quelles sont les continuités et les discontinuités en termes de modélisation qui accompagnent l'avancée du savoir ?

Méthodologie

Notre corpus principal est la vidéo de la séance filmée. Celle-ci est une séance de travaux pratiques (TP) de chimie se déroulant en demi-classe (les 13 élèves présents sont répartis en deux groupes de travail) de 1ère année d'un lycée tunisien (élèves de 15-16 ans) dont l'enseignement est assuré par une enseignante expérimentée (20 ans de carrière).

La séance a duré 52 minutes au cours de laquelle est abordée d'abord la notion de dissolution (28 min), puis est introduite la grandeur concentration massique (24 min).

Après la transcription de la vidéo, nous avons procédé à la construction des JD en nous basant essentiellement sur le changement d'activité (au sens professionnel) dans la classe associé à chaque fois à un enjeu de savoir nouveau. Une deuxième structuration en JE a été effectuée en identifiant des enjeux de savoir plus spécifiques dans le JD (Il peut s'agir, par exemple, de la réalisation d'une expérience, d'une discussion autour d'une notion, d'une généralisation d'un constat expérimental, etc.).

Au sein des JE, nous identifions les actes verbaux cohérents de point de vue de savoir que nous caractérisons à l'aide des descripteurs relatifs à la facette correspondante. Pour cela nous avons construit préalablement un catalogue[42] de facettes en lien avec le savoir enseigné.

[42] La construction de ce catalogue fait partie d'un travail de thèse récemment soutenue (Mahjoub, 2021).

Le traitement des données construites commence par une description narrative du déroulement de chacun des JE de chaque JD. Celle-ci articule l'analyse microscopique (qui nous renseigne sur la nature du savoir de point de vue de la modélisation) à l'analyse mésoscopique (qui nous permet plus particulièrement de décrire le milieu dans lequel le savoir évolue et le processus de sa régulation par l'enseignante).

La combinaison des descriptions didactiques des différents JE (qui n'est pas leur simple concaténation puisque selon l'importance que chacun d'entre eux a dans l'avancée du savoir, il est possible que certains éléments de la description soient abandonnés ou au contraire mis plus en avant) permet de construire la description du JD en documentant ses différentes genèses et notamment la chronogenèse en termes de continuités/discontinuités. Les caractéristiques des différents JD et particulièrement celles qui sont récurrentes permettent enfin de qualifier les pratiques relatives à la construction de la définition de la grandeur concentration massique en classe.

Résultats

Précisons d'abord que seules les données relatives à la deuxième partie de la séance retiennent notre attention. En effet, c'est au cours de cette phase que la grandeur concentration est abordée par l'enseignante. Son découpage microscopique donne lieu à 53 facettes. Cinq JD résultent de son découpage mésoscopique dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant :

Jeu didactique (N) **Durée (min:s)**	**Intitulé** (La description reprend les propos des acteurs)
J07 (01min:10s)	Introduire, en classe entière, le terme « concentration » à partir d'une situation quotidienne liée à la citronnade.
J08 (07min:50s)	Constater, à partir d'une expérience guidée et réalisée par groupe, que lorsqu'on prend deux solutions aqueuses de sucre de volumes différents et d'égale masse de soluté, une solution est plus concentrée que l'autre.
J09 (07min:06s)	Constater, à partir d'une expérience guidée par groupe, que lorsqu'on prend deux solutions aqueuses de sucre d'égal volume et de masses de soluté différentes, une solution est plus sucrée que l'autre.
J10 (03min:39s)	Constater à partir d'une expérience guidée par groupe, que lorsqu'on prend deux solutions aqueuses de sulfate de cuivre II d'égal volume et de masses de soluté différentes, la plus concentrée est la plus foncée.
J11 (03min:47s)	Définir puis formaliser, en classe entière, la grandeur concentration massique à partir des observations faites au cours des trois expériences précédentes.

Tableau n°5 : l'ensemble des JD identifiés dans la partie de la séance consacrée à la concentration massique

Dans le jeu J07, l'enseignante annonce l'objet d'étude de la deuxième partie de la séance qui sera la concentration massique. Elle introduit ensuite le terme « concentration » à partir d'une situation quotidienne liée à la citronnade.

Les jeux J08, J09 et J10 ont pour enjeu de faire correspondre une différence de goût ou de teinte entre deux solutions à une différence de concentration. Pour cela, l'enseignante demande aux élèves de préparer à chaque fois un couple de solutions (deux solutions d'eau sucrée d'égales masses de sucre mais de volumes d'eau différents (J08) ; deux solutions d'eau sucrée de volumes égaux mais de masses de sucre différentes (J09) ; deux solutions aqueuses de sulfate de cuivre de volumes égaux mais de masses de soluté différentes (J10)), puis à l'aide d'un jeu de question/réponse, elle les amène à admettre que plus la solution est sucrée (ou foncée) plus elle est concentrée (J08 et J10) et plus on ajoute du sucre à une solution, plus elle sucrée (J09).

Enfin dans le onzième jeu (J11) l'enseignante dicte la définition de la grandeur concentration massique après avoir récapitulé les constatations faites sur les solutions préparées lors des jeux précédents.

La concentration : de l'usage quotidien à la notion de « proportion » du soluté dans la solution

L'enseignante commence par définir globalement l'enjeu du savoir de cette deuxième partie de la séance (J07) en s'appuyant sur le contexte quotidien des élèves où le mot "concentré" est employé pour qualifier la citronnade (T 423.bis, Extrait n°1).

423.P : (0:28:30.2) alors [P lit la fiche TP] en petit deux on a mis concentration massique toute seule ici je vais commencer par expliquer le terme et ensuite on va faire l'expérience
423.bis P : concentration on trouve toujours le mot concentré déjà vous avez sûrement entendu parler à l'extérieur quelque chose de concentré par exemple lorsque vous préparez une citronnade par exemple parfois on dit qu'elle est
424.E : concentrée
425.P : concentrée, d'accord ?
426.E : oui (0:29:16.8)

Extrait n°1 (J07E1) : l'enseignante entame la deuxième partie de la séance en introduisant la concentration par son usage quotidien. (P : enseignante, E : élève)

Les jeux J08, J09 et J10 (dont l'enjeu reste non défini par l'enseignante) doivent faire le lien entre l'usage quotidien du terme « concentration » et les facteurs dont dépend la grandeur « concentration massique ». Ils sont similaires dans leur manière d'être jouée : faire d'abord l'expérience puis en induire une conclusion sous la conduite de l'enseignante. Les échanges qui ont lieu à propos des solutions préparées sont orientés par l'enseignante vers une interprétation de la différence du goût (J08) et la différence de l'intensité de teinte (J10) en termes de différence de concentration (cf. Extrait n°2 et Extrait n°3). Le milieu évolue car les élèves arrivent à décrire les éléments empiriques mais c'est l'enseignante qui impose la conclusion théorique. L'examen des facettes relatives aux jeux analysés montrent que celles-ci s'inscrivent majoritairement dans le monde des objets et des évènements (28 facettes sur 53) et sollicitent principalement des descriptions en lien souvent avec des connaissances quotidiennes sur la concentration. Les facettes inscrites dans le monde théorique (15 facettes sur 53) sont produites par l'enseignante et concernent principalement la généralisation des éléments expérimentaux en termes de définitions théoriques. La mise en relation entre les deux mondes (10 facettes sur 53) est principalement traduite par l'interprétation de la différence du goût et de la teinte entre les solutions en termes de différence de concentration. Le Tableau n°6 ci-dessous représente un exemple emblématique de ces caractéristiques :

Transcription	Facette	Caractéristiques de la facette	
T 500 – T 505 (cf. Extrait 2, ci-dessous)	Si on goûte deux solutions à égales masses de sucre mais de volumes différents, la solution au plus petit volume est la plus sucrée	P/E	Description Monde obj/ev
T 523.bis – T 527 (cf. Extrait 4, ci-dessous)	À égale masse de soluté, la concentration dépend du volume de l'eau	P	Interprétation Monde des th/mod
T 527.bis – T 531 (cf. Extrait 4, ci-dessous)	Le volume du solvant et le volume de la solution sont les mêmes	P	Définition Monde des obj/ev
	La concentration dépend du volume de la solution	P	Définition Monde des th/mod

Tableau n°6 : Les facettes repérées dans le JD J08 (du T 500 - au T 531) (T : tour de parole, E = élève, P = Professeur, P/E = partagée)

L'examen de ce tableau montre que le jeu J08 qui a débuté dans le monde des objets et évènements finit dans le monde des théories et modèles. Toutefois le raccourci dans la conceptualisation de la relation volume – concentration (ligne 4, Tableau n°6) ainsi que l'approximation dans les énoncés de l'enseignante d'assimiler le volume de la solution à celui du solvant (ligne 3, Tableau n°6) laissent à la charge de l'élève d'envisager la nature de la relation volume - concentration. Car si les élèves savent à partir de l'expérience

quotidienne que, pour un volume donné, plus on met de soluté plus la solution est concentrée, l'idée que, pour la même masse de soluté, plus le volume est grand moins la solution est concentrée n'est pas acquise.

L'enseignante opère de rares régulations dans le milieu parmi lesquelles :

- Un jeu de questions qui sont le plus souvent des questions ouvertes généralement non aidantes (T 500, 504, 506, Extrait n°2 ci-dessous) conduisant à des glissements vers un effet Topaze.
- Des gestes de désignation d'objets matériels qui relèvent souvent de l'ostension (T 508, Extrait n°2) :

500.P : (…) (0:35:49.6) alors si vous goûtez par exemple qu'est-ce que vous constatez vous mettez le tube 1 donc là (elle numérote les tubes de la fiche de TP de l'élève) je suppose ça le tube 1 et là le tube 2 si je compare la solution dans le tube 1 par rapport à la solution dans le tube 2 qu'est-ce que je peux constater
501.E : tube 1 est plus concentré
502.P : si je goûte↑ si je prends un peu et je goûte là qu'est-ce que vous constatez ? si je goûte le mélange, la solution du tube 1 par rapport à la solution du tube 2 qu'est-ce que je peux constater ?
503.Es : [silence]
504.P : oui, qui est-ce qui peut parler (allez-y tous) la solution dans le tube deux est plus comment
505.E : concentrée
506.P : concentrée c'est-à-dire pour vous c'est quoi concentré avant de dire plus concentrée elle est comment ? plus
507.Es : [silence]
508.P : regardez on a mis du sucre on a mis du sucre
509.E : (sucrée↓)
510.P : sucrée (…) d'accord (0:36:25.2)

Extrait n°2 (J08.E2) : Échange basé sur un jeu de questions (parties grisées).
(Les propos entre parenthèses sont des traductions de l'arabe - ↑ ou ↓ = montée ou descente intonative)

- Introduction de consignes faisant souvent appel à une pratique quotidienne (comparer des solutions en se basant sur les sens) (T 623, T 629, cf. Extrait n°3) :

623.P : (0:46:48.8) alors si vous mettez les deux solutions l'une à côté de l'autre qu'est-ce que vous constatez [Elle prend les deux tubes et les rapproche de sa blouse blanche] là c'est bleu et là c'est bleu je ne vois rien, utilisez un fond blanc, alors regardez
624.E : madame (celle-là est la plus foncée)
625.P : très bien plus concentrée celle où j'ai mis la masse la plus impo
626.E : importante
627.P : importante regardez bien d'accord ? Ça y est c'est fait là ? d'accord
627.P bis : et là aussi alors la solution la plus concentrée laquelle ? Celle qui est la plus fon
628.E : foncée
629.P : la plus foncée parce que j'ai utilisé la vue donc tout à l'heure en utilisant le sucre j'ai pu utiliser le goûter avec celui-là j'ai pu utiliser la vue c'est-à-dire les sens d'accord (0:47:29.7)

Extrait n°3 (J10.E3) : L'enseignante mobilise des pratiques quotidiennes pour comparer les solutions préparées

Ces régulations inscrivent les élèves dans un registre descriptif qui ne les aide pas à conceptualiser la concentration massique comme une proportion du soluté dans la solution.

La topogenèse est sous la responsabilité de l'enseignante qui occupe tout au long des jeux une position topogénétique haute. En effet, c'est elle qui impose les consignes à suivre pour constituer la dimension matérielle du milieu. C'est elle aussi qui avance les éléments conclusifs des jeux parfois sans expérience scolaire pour les élèves (T 529, Extrait n°4). En effet, les élèves n'ont fait aucun repérage du niveau du liquide avant et après dissolution. Sur un autre plan, c'est encore elle qui est très majoritairement l'autrice de propos dans lesquels nous avons reconnu la plupart des facettes identifiées (36 facettes sur 53).

523.P.bis : (0:36:57.8) mais là comme vous le voyez bien ici on a mis la même quantité de solu
524.E : soluté
525.P : je vois très bien que dans un tube il y a un volume d'eau qui est supérieur à l'autre d'accord donc je peux dire que la concentration dépend de quoi

526.E2 : de la quantité d'eau
527.P : de du volume d'eau
527.P.bis : l'eau c'est quoi l'eau elle a joué le rôle de quoi
528.Es : solvant
529.P : elle dépend du volume du solvant mais en tout c'est le volume de la solu
530.Es : solution
531.P : de la solution voilà (0:37:30.4)

Extrait n°4 (J08.E3) : l'enseignante introduit l'idée que la concentration dépend du volume de la solution et que celui-ci est le même que celui du solvant.

Sur le plan chronogénétique, le savoir n'avance qu'au moment de l'institutionnalisation dans le jeu J11, portant d'abord sur l'identification des facteurs qui influencent la concentration massique (cf. Extrait n°5), puis sur la définition de la concentration massique dictée par l'enseignante comme étant le rapport entre la masse du soluté dissous et le volume de la solution (cf. Extrait n°6).

651.P : (0:49:40.4) la concentration elle dépend de quoi d'après ce qu'on vient de voir elle dépend de quoi d'après ces expériences ? Elle dépend de la masse de soluté diss
652.E : dissous
653.P : dissous et elle dépend de quoi aussi ?
654.Es : [silence]
655.P : du vo
656.E : volume
657.P : volume de la solu
658.E : solution
659.P : de la solution d'accord (0:50:02.6).

Extrait n°5 (J11.E1): Par un jeu de questions dont elle souffle les réponses, l'enseignante introduit les facteurs qui influencent la concentration.

661.P bis : (0:50:02.6) donc je dois calculer une concentration sans me baser sur les sens donc on va écrire donc la définition d'une concentration donc
662.E : [l'élève lit sa fiche] la concentration massique
663.P : oui donc la concentration massique donc il faut écrire [elle dicte] elle est définie elle est définie elle est définie comme étant elle est définie comme étant comme étant
664.E : oui

665.P : le rapport↑ le rapport de la masse de la masse de soluté dissous de la masse de soluté dissous par par le volume de la solution par le volume par le volume de de la solution (0:51:03.8).

Extrait n°6 (J11.E2) : L'enseignante introduit, en langage naturel oral, la définition de la concentration massique

Or, ces institutionnalisations restent en suspens dans la classe car elles résultent ici des questions fermées posées par l'enseignante et des réponses qu'elle souffle aux élèves. Aussi peut-on douter que ces derniers donnent sur l'instant un sens à la définition fournie en lien avec les expériences précédentes, d'autant que celle-ci n'est pas accompagnée de sa formulation mathématique.

Continuités et discontinuités dans l'avancée du savoir

L'analyse des différentes données nous permet d'inférer des continuités et des discontinuités qui accompagnent l'avancée du savoir dans la classe observée :

- Une continuité, lors du passage du monde des objets/évènements au monde des théories/modèles, entre une description dans le monde empirique initiée par un appel à l'expérience quotidienne des élèves (Si on goûte deux solutions à égales masses de sucre mais de volumes différents, la solution au plus petit volume est la plus sucrée) et une interprétation dans le monde des théories/modèles (À égale masse de soluté, la solution au plus petit volume est la plus concentrée) assurée par un lien interprétatif dans le monde quotidien (une solution sucrée est concentrée en sucre).
- Une discontinuité entre le monde empirique (le travail des élèves lors de l'expérience) et le monde théorique (les propos de l'enseignante relatifs à la conservation du volume lors de la dissolution). En effet, aucun repérage des volumes n'a été fait par les élèves avant et après dissolution du sucre. Admettre que le volume du solvant est égal au volume de la solution laisse penser que cette approximation vaut pour toutes les solutions et non seulement pour celles dont le volume de soluté pourrait être négligé devant celui du solvant. Cela pourrait engendrer chez les élèves une confusion entre les deux volumes.

- Une discontinuité dans la mise en relation des deux mondes lors du passage d'une description dans le monde empirique (une solution plus sucrée ou plus foncée qu'une autre) à une définition dans le monde des théories et modèles (la concentration massique est définie comme étant le rapport de la masse du soluté dissous par le volume de la solution) faute d'un travail de conceptualisation permettant d'expliciter la nature des relations qui existent entre les différents concepts (masse de soluté, volume de la solution et concentration). Ce raccourci de conceptualisation peut empêcher l'appréhension de la notion de « proportion » du soluté dissous dans la solution.

Conclusion de l'analyse

Une mésogenèse initiée à partir de l'expérience quotidienne des élèves

L'action de l'enseignante consiste à passer du monde des objets et des événements quotidiens, mobilisant les sens (solution plus sucrée ou plus foncée qu'une autre), au monde des théories et des modèles, d'abord dans leur aspect quotidien (solution plus concentrée qu'une autre), pour ensuite construire la grandeur scientifique de la concentration massique.

L'enseignante opère de rares régulations en mobilisant un ensemble de questions dont les réponses sont immédiates ou non pertinentes à la suite desquelles elle se charge elle-même d'amener l'élément conclusif.

Une topogenèse majoritairement sous la responsabilité de l'enseignante

L'enseignante occupe une position topogénétique haute en contraignant les élèves à admettre une conclusion sans qu'ils aient les moyens de la vérifier (lorsqu'elle fait admettre aux élèves que le volume du solvant et celui de la solution sont similaires). Elle impose aussi ce qui est rédigé sur la fiche de TP sans travail conceptuel préalable (cf ; la définition de la concentration massique).

Une chronogenèse rapide marquée par l'entrée impromptue de certains éléments

La chronogenèse est rapide : les éléments introduits par l'enseignante visent la mise en œuvre d'une institutionnalisation dans un délai court. Un lien inductif assure les continuités lors de la mise en relation des deux mondes qui consiste à établir d'abord une observation empirique puis bâtir dessus une conclusion théorique. Lorsque ce lien est artificiel et de ce

fait dépourvu de sens pour les élèves, une discontinuité apparait, par exemple lors de l'entrée impromptue dans le milieu de la définition de la concentration massique.

Discussion

Nous avons regardé particulièrement les continuités/discontinuités dans l'avancée du savoir du point de vue de la modélisation. Nos résultats s'accordent avec ceux de Nouiri (2016) qui a analysé l'action didactique dans le cas de l'enseignement de titrage acide-base en classes de terminales tunisiennes. En effet, c'est le même enchainement expérience - observation - interprétation qui assure la majorité des continuités repérées dans les pratiques des enseignants observés par Nouiri. Nous supposons que ce point de vue inductif pourrait se rattacher à la nature des activités proposées par le manuel largement utilisé par les enseignants tunisiens pour concevoir leur enseignement (Mzoughi-Khadhraoui et al., 2013).

Par ailleurs, les discontinuités identifiées mettent l'accent sur la difficulté de conceptualiser la notion de « proportion », croisant dans ce sens les résultats de Willame (2017) adoptant un cadre théorique et méthodologique différent.

Conclusion

Cet article porte sur l'étude des pratiques en lien avec l'avancée du savoir lors de l'enseignement de la grandeur concentration massique en 1ère année du secondaire. C'est en référence à la théorie des deux mondes que nous avons décrit la nature du savoir en construction dans la classe et aussi à la théorie de l'action conjointe que nous avons analysé l'action dans laquelle s'incarne ce savoir. Nous avons montré qu'une mésogenèse pilotée par l'enseignante se conjugue avec une position topogénétique haute et une progression des savoirs animée par l'enchainement expérience - observation - interprétation. Cet aspect inductif assure les continuités dans l'avancée du savoir. Toutefois, des discontinuités émergent lors de l'entrée impromptue de certains savoirs ce qui pourrait empêcher l'appréhension de certains aspects du modèle retenu, particulièrement la notion de proportion du soluté dans la solution.

Il s'avère ainsi intéressant d'aider, lors des formations, les enseignants de chimie à travailler les articulations possibles, au cours de l'activité proposée aux élèves, entre les éléments de savoir en jeu dans le travail empirique et ceux introduits lors de l'institutionnalisation dont les analyses montrent qu'il s'agit d'une réelle difficulté pour l'enseignant.

Références bibliographiques

Amade-Escot, C. et Venturini, P. (2009). Le milieu didactique : D'une étude empirique en contexte difficile à une réflexion sur le concept. *Education & didactique, 3*(1), 7-43. https://doi.org/10.4000/educationdidactique.407

Bru, M. (2002). Pratiques enseignantes : Des recherches à conforter et à développer. *Revue française de pédagogie, 138*(1), 63-73. https://doi.org/10.3406/rfp.2002.2864

Dhaha, F., Ajili, M. T., Kerrou, M. et Kilani, K. (s. d.). *CHIMIE : 1ére Année de l'enseignement secondaire*. Centre National Pédagogique (C.N.P). https://cnp.com.tn/arabic/PDF/224101P00.pdf

Gandillet, E. et Le Maréchal, J. F. (2003). Conceptions et chimie des solutions ioniques. Dans V. Albe, C. Orange, L. Simonneaux (dir.), *3èmes Rencontres Scientifiques de l'ARDIST* (157-164). https://docplayer.fr/62701140-Conceptions-et-chimie-des-solutions-ioniques-estelle-gandillet-jean-francois-le-marechal-umr-gric-coast-universite-lyon-2.html

IUPAC, (2019). *Compendium of Chemical Terminology, (the "Gold Book"). Online version*. https://doi.org/10.1351/goldbook.A00295

Lemke, J. L. (2000). Across the Scales of Time: Artifacts, Activities, and Meanings in Ecosocial Systems. *Mind, Culture, and Activity*, *7*(4), 273-290. DOI:10.1207/S15327884MCA0704_03

Mahjoub, A. (2021). Analyse de l'action didactique conjointe lors de l'enseignement et l'étude du phénomène de dissolution en 1ère année du secondaire tunisien [Thèse de Doctorat]. Université Toulouse Jean Jaurès ; Institut supérieur de l'éducation et de la formation continue de Tunis.

Ministère de l'Éducation Tunisien. (2010, septembre). *Programmes de sciences physiques*. http://www.edunet.tn/ressources/pedagogie/programmes/nouveaux_programme2011/secondaire/physique1_2.pdf

Minstrell, J. (1992). Facets of students' knowledge and relevant instruction. In F. Goldberg, H. Niedderer, R. Duit (Eds.), *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies* (Proceedings of an International Workshop held at the University of Bremen) (110-128). IPN. https://www.researchgate.net/profile/Hans-Niedderer/publication/330993365_Research_in_Physics_Learning_Theoretical_Issues_and_Empirical_Studies/links/5c5f8abea6fdccb608b40ca2/Research-in-Physics-Learning-Theoretical-Issues-and-Empirical-Studies.pdf

Mzoughi-khadhraoui, I., Dumon, A. et AyadiTrabelsi, M. (2013). Analyse comparative de pratiques enseignantes en situation de classe ordinaire lors du premier contact d'élèves tunisiens avec la modélisation de la transformation chimique. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, 12*(3), 392-419. http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen12/REEC_12_3_2_ex734.pdf

Nouiri, A. (2016). Analyse de l'action didactique, de sa continuité et de ses déterminants. Cas de l'enseignement de titrage acide-base en classes de terminales tunisiennes [Thèse de doctorat]. Université de Toulouse Jean-Jaurés ; Institut supérieur de l'éducation et de la formation continue de Tunis.

Schubauer-Leoni, M.-L., Leutenegger, F., Ligozat, F. et Fluckiger, A. (2007). Un modèle de l'action conjointe professeur-élèves : Les phénomènes didactiques qu'il peut/doit traiter. Dans G. Sensevy et A. Mercier (dir.), *Agir ensemble* (51-92). Presses Universitaires de Rennes.

Sensevy, G. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique. Dans G. Sensevy et A. Mercier (dir.), *Agir ensemble* (13-50). Presses Universitaires de Rennes.

Tiberghien, A., Buty, C. et Le Maréchal, J. F. (2005, 18 au 20 mars). *Physics teaching sequences and students learning* [Communication dans un congrès]. The second Conference of EDIFE and the Second IOSTE Symposium in Southern Europe, Kalamata, Greece. https://www.researchgate.net/profile/Andree-tiberghien/publication/267373965_Physics_teaching_sequences_and_students'_learning/links/5603df4708ae460e270503f6/Physics-teaching-sequences-and-students-learning.pdf

Tiberghien, A. et Venturini, P. (2015). Articulation des niveaux microscopiques et mésoscopiques dans les analyses de pratiques de classe à partir de vidéos. *Recherches en Didactiques des Sciences et Techniques*, 11, 53-78. https://doi.org/10.4000/rdst.986

Tiberghien, A. et Vince, J. (2005). Étude de l'activité des élèves de lycée en situation d'enseignement de la physique. *Cahiers du Français Contemporain*, 10, 153-176. http://www.inrp.fr/rencontres/seminaires/2004/sem_didac/andree_tiberghien_2.pdf

Venturini, P. et Tiberghien, A. (2018). Analyse et formalisation de la dimension durable du contrat didactique. Cas de l'enseignement de la physique par activités en classe de seconde. *Éducation et didactique*, *12*(3), 65-106. https://doi.org/10.4000/educationdidactique.3539

Willame, B. (2017). Construction d'outils didactiques pour remédier aux difficultés d'apprentissage du concept de concentration en chimie dans le secondaire supérieur - Appui sur les neurosciences cognitives. [Thèse de doctorat, Université de NAMUR]. https://researchportal.unamur.be/fr/studentTheses/construction-doutils-didactiques-pour-rem%C3%A9dier-aux-difficult%C3%A9s-da

Approcher l'activité enseignante via un groupe de travail : exemple de l'appropriation de concepts chimiques

Kermen Isabelle
CREAD, Univ Brest, Univ Rennes 2 – France

Résumé

Un groupe de travail constitué d'enseignantes et de chercheuses élabore des ressources pour le collège autour du concept de transformation chimique et des concepts liés en France. Ce chapitre interroge leur appropriation par les enseignantes. Il interroge l'activité enseignante en identifiant les choix effectués pour en inférer les raisons d'agir d'une enseignante mais aussi les freins qui s'opposeraient à la prise en compte de certains aspects. Les données comportent les transcriptions d'une séquence de classe conçue et mise en œuvre par une enseignante du groupe, et d'une réunion de travail où des aspects de la séquence sont portés à la discussion. Les manifestations de choix de l'enseignante et de moments d'accord et de désaccord entre membres du groupe sont identifiées. En appui sur la double approche didactique et ergonomique et la double régulation de l'activité du sujet, les résultats attestent de tensions entre déterminants de l'activité de l'enseignante observée comme pour ses collègues.

Une séquence d'enseignement sur les transformations chimiques en classe de troisième en France, a été discutée et analysée au sein d'un groupe de travail réunissant enseignants de

physique-chimie et chercheurs. Ce groupe de travail, LangMeR, pour Langage, Modèles et Réalité dans l'enseignement de la chimie, est un groupe IREMS (Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques et des Sciences) ayant pour objectif d'élaborer des ressources concernant les transformations chimiques de la matière et le langage de la chimie (noms et formules chimiques essentiellement) principalement au collège en France. L'étude exploratoire dont ce chapitre rend compte, souhaite caractériser les raisons d'agir des enseignants afin de déterminer en quoi elles relèvent ou non d'éléments génériques (non dépendants des contenus en jeu) d'explication des pratiques. Le chapitre présente les fondements théoriques de l'activité enseignante, les savoirs en jeu au sein du groupe IREMS dont l'origine est brièvement indiquée avant de développer l'objectif de l'étude. La méthodologie de recueil et d'analyse des données ensuite exposée précède les résultats qui sont suivis d'une discussion.

Références théoriques pour l'activité enseignante

Activité enseignante et pratique enseignante

Les pratiques d'un enseignant désignent « l'ensemble des activités de l'enseignant qui aboutissent à ce qu'il met en œuvre en classe et ses activités en classe » (Robert, 1999, p. 128). Pour Altet activité et pratique sont aussi liées dans la mesure où « la pratique de l'enseignant renvoie à une activité professionnelle située, orientée par des fins, des buts et les normes d'un groupe professionnel » (Altet, 2002, p. 86). Une distinction du même type est faite dans ce chapitre entre l'activité enseignante (ou activité d'un enseignant) et les pratiques enseignantes ou pratiques d'un enseignant. L'activité enseignante correspond à ce que développe le professionnel pour concevoir et mettre en œuvre les séances de classe devant les élèves. Elle est située, elle correspond à la réalisation d'une tâche, atteindre un but que se fixe l'enseignant dans un contexte précis, matériel et temporel (Leplat et Hoc, 1983). Seules des traces de l'activité comme les propos tenus, les gestes, les déplacements, les écrits sont accessibles à l'observateur-analyste, l'activité comprenant aussi les décisions, les raisons et les pensées du sujet (Robert, 2008 ; Rogalski, 2007). Les pratiques enseignantes sont plus globales que l'activité et ne sont pas attachées à une séance particulière ou à un moment particulier.

Un cadre pour étudier l'activité enseignante

L'étude de l'activité enseignante prend appui sur le cadre de la double approche didactique et ergonomique (DADE) (Robert, 2008), qui considère que cette activité consiste notamment à concevoir des tâches pour que les élèves apprennent un contenu donné et à fournir un accompagnement jouant le rôle d'une médiation entre élève et savoir à apprendre. La conception des tâches prescrites aux élèves et l'accompagnement que l'enseignant propose lors de la séance pendant laquelle les élèves réalisent les tâches, sont influencés par trois déterminants en partie extérieurs à la classe, les déterminants de l'activité (figure 1). Le déterminant institutionnel regroupe des éléments à caractère prescriptif comme les prescriptions officielles (programmes, horaires, circulaires) jouant plutôt un rôle de contraintes, et des ressources (manuels scolaires, matériel et produits chimiques) contribuant à la prise en compte de certaines prescriptions dans la conception de séances de classe. Le déterminant social désigne des éléments variés ayant un point commun, l'attachement à un groupe social : les habitudes professionnelles des enseignants de la discipline, le travail en équipe (ses contraintes, ses apports) et les élèves « qui interviennent non seulement comme groupe mais aussi comme appartenant à des groupes sociaux » (Robert, 2008, p. 59) et constituent des facteurs ayant une influence directe en classe sur l'activité de l'enseignant. Le déterminant personnel concerne des facteurs cognitifs propres à chaque enseignant comme ses connaissances de toute nature (par exemple disciplinaires, didactiques, épistémologiques), son expérience professionnelle, ses conceptions sur l'enseignement et l'apprentissage de la discipline scolaire (ici la physique et la chimie). D'autres facteurs personnels (émotionnels, physiologique…) ne sont généralement pas explicités lors de la description du déterminant personnel.

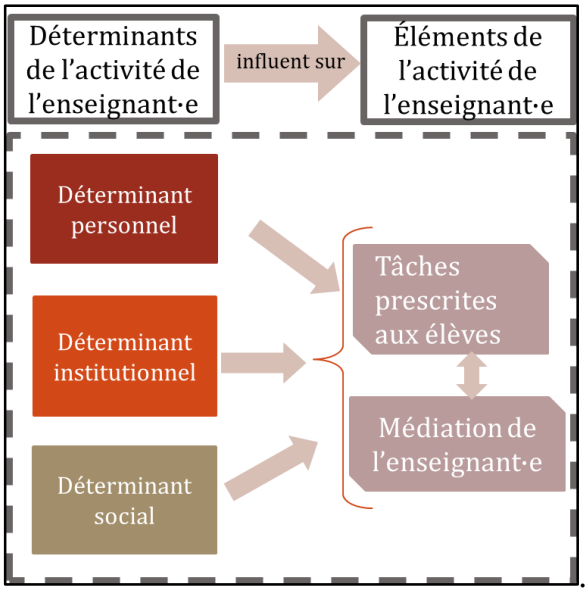


Figure n°1 : Les déterminants de l'activité enseignante dans la DADE

Il est alors intéressant de compléter ces éléments de la DADE par le modèle de la double régulation de l'activité du sujet proposée par Rogalski (2007) qu'elle indique avoir adapté des travaux de Leplat datant de 1997 (figure n°2). Une régulation de l'activité s'opère lorsque le sujet, reconnaissant un écart entre le but visé et le résultat auquel son action conduit, modifie son action pour changer le résultat afin de tendre vers le but poursuivi (Leplat, 2006). Le maintien d'une action conduisant à l'effet attendu constitue aussi une régulation moins perceptible. L'activité enseignante produit des résultats sur l'objet de l'action, ici la relation des élèves à la tâche, qui sont conformes ou non à l'attente de l'enseignant. Les élèves et ce qu'ils font étant constitutifs de la situation, celle-ci est constamment en évolution et influence l'activité de l'enseignant qui poursuit son action ou la modifie pour tenir compte de l'écart qu'il a perçu ou non en comparant le résultat obtenu et le but qu'il visait. Mais l'activité enseignante produit aussi des effets sur l'enseignant lui-même, de nature cognitive, émotionnelle ou physiologique, qui contribuent au maintien de l'activité ou provoquent des transformations selon différentes temporalités (Rogalski, 2007). Ce qui vient d'être décrit correspond respectivement à la boucle supérieure et à la boucle inférieure du schéma de la figure 2. Ces transformations s'effectuent à l'échelle d'une séance (pour la fatigue par exemple), à moyen terme (lorsque l'enseignant modifie une tâche pour une séance ultérieure) ou à plus long terme, lorsqu'il y a modification des compétences et développement professionnel (Rogalski, 2003).

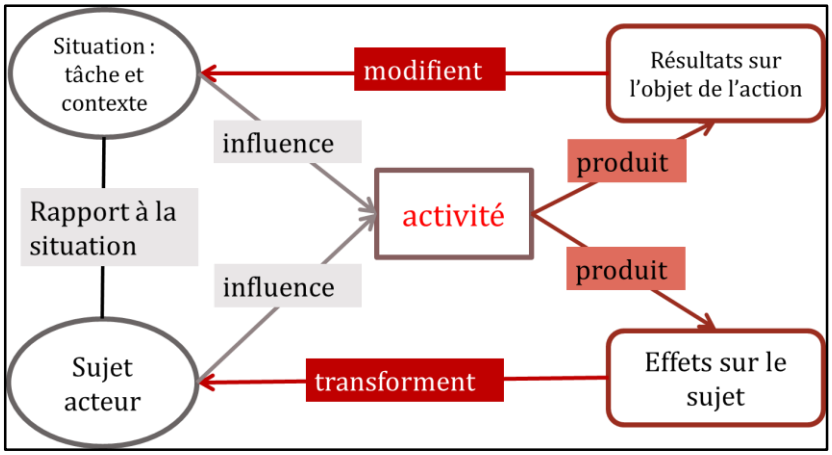


Figure n°2 : Modèle de la double régulation de l'activité du sujet (d'après Rogalski, 2007)

Savoirs en jeu

Le langage symbolique utilisé en chimie (les noms et les formules) désigne les substances et espèces chimiques (niveau macroscopique) mais aussi les entités chimiques (niveau submicroscopique) (Taber, 2013). Cette spécificité majeure de la chimie fait que par exemple le dioxyde de carbone (ou la formule CO_2) désigne selon le contexte la substance (le gaz) ou la molécule ; de même l'expression les ions cuivre (ou la formule Cu^{2+}) réfère à l'espèce chimique ionique (dont on reconnait la présence à la couleur bleue d'une solution aqueuse) ou à l'entité constitué d'un noyau de cuivre et d'électrons (à l'échelle atomico-moléculaire).

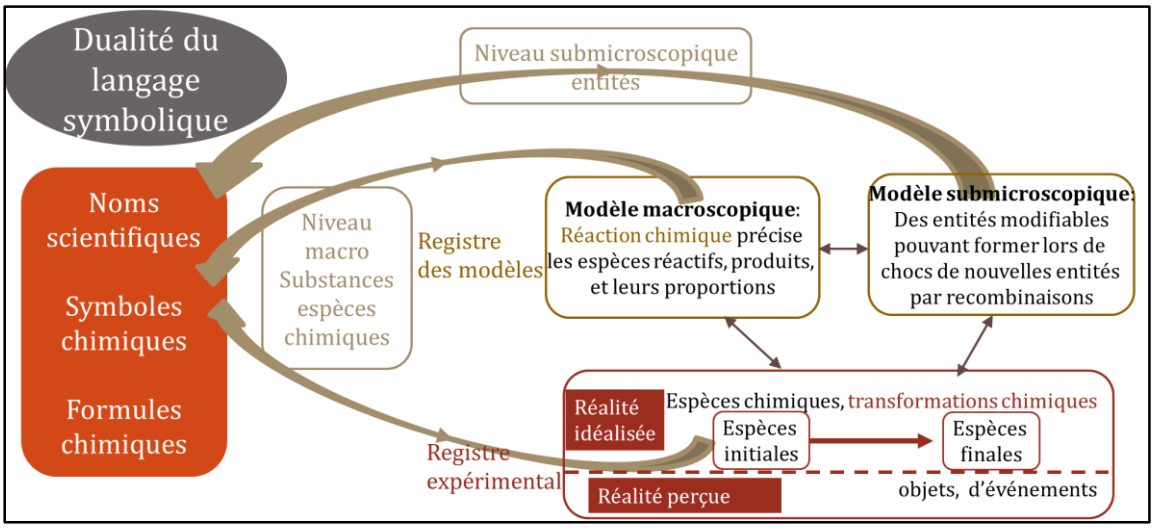


Figure n°3 : registres et niveaux de savoirs pour les transformations chimiques de la matière

Ce caractère dual du langage symbolique est peu maitrisé par les élèves (Canac et Kermen, 2016) et ne semble pas suffisamment pris en charge par les enseignants (Canac et Kermen, 2018).

La mise en contact d'échantillons de matière donne souvent lieu à des transformations de la matière. La transformation d'un système est dite chimique si sa composition en termes de substances ou d'espèces chimiques a varié lorsqu'on compare l'état initial et l'état final du système. Le concept (macroscopique) de transformation chimique d'un système chimique constitue une description chimique d'un système dans le registre expérimental alors que le concept de réaction chimique appartient au registre des modèles (Kermen, 2018). La réaction chimique permet d'interpréter ou de prévoir toute une famille de transformations chimiques totales pour des systèmes similaires (Kermen, 2018). Une interprétation des transformations chimiques à l'échelle submicroscopique considère qu'elles résultent de la recombinaison d'entités chimiques générant de nouvelles entités. Une espèce chimique étant considérée comme constituée d'une infinité d'entités chimiques identiques, une recombinaison à l'échelle submicroscopique correspond à la formation d'une nouvelle espèce chimique à l'échelle macroscopique. Ces considérations sont brièvement résumées sur la figure n°3.

Contexte de l'étude : travail au sein du groupe IREMS

Le groupe de travail est constitué de quatre enseignantes expérimentées ayant plus de 20 ans d'exercice du métier, exerçant dans quatre établissements (trois collèges et une cité scolaire) et de deux chercheuses dont l'autrice de ce chapitre. Il se réunit trois à quatre fois par an dans le cadre d'un IREMS depuis 2019. Initialement, les chercheuses ont créé le groupe pour que les enseignantes s'approprient un canevas de séquence sur l'introduction des formules chimiques (incluant la notion de transformation chimique) en appui sur l'histoire des sciences (Canac et Kermen, 2020) afin de produire des séances diffusables et accroitre les connaissances sur la réception par les élèves de ce parti pris. À la troisième réunion, devant l'absence d'adhésion des enseignantes au canevas proposé, le travail s'est orienté vers l'intégration par les enseignantes dans leurs propres séquences des thèmes discutés lors des premières réunions. Le processus a alors consisté à étudier la mise en œuvre d'une séquence d'une des membres du groupe, afin de la discuter, l'améliorer et la remettre en œuvre. L'objectif du groupe IREMS consiste dès lors à produire des ressources accessibles à tout enseignant, dans lesquelles des résultats de recherche en didactique de la chimie auront été pris en compte.

D'une modalité type ingénierie didactique où la séquence était apportée par les chercheurs, le groupe est passé à une modalité de type participatif (Anadón et Couture, 2007) où les enseignantes créent la séquence étudiée. Le statut asymétrique des participants (Bednarz et al., 2012; Marlot et al., 2017) est assumé, les enseignantes apportant leur expertise de praticiennes et les chercheuses leur savoir épistémologique et didactique de l'enseignement et apprentissage du contenu chimique. Comme l'indique Roy (2021) en appui sur Ligozat et Marlot (2016), ces différences conduisent à une complémentarité des rôles, les chercheuses ayant celui d'éclairer les praticiennes en matière de savoirs à enseigner et de savoirs pour enseigner. Les apports des chercheuses sont parfois critiques à l'égard du programme de chimie du collège (et aussi du lycée) et en particulier à l'égard du manque de précision ou de cohérence des préconisations du programme voire de leur absence sur certains aspects. Le groupe de travail et les discussions qui s'y déroulent constituent un autre élément du déterminant social de l'activité des enseignantes du groupe.

Objectif de l'étude

Initialement, le groupe a été créé pour que les chercheuses travaillent avec les enseignantes sans programmer d'étude de son fonctionnement ni de ses effets potentiels sur les enseignantes. L'autrice de ce chapitre a pris l'initiative d'essayer de décrire les étapes du travail et les évolutions constatées afin de caractériser l'appropriation par les enseignantes des différents concepts enjeux de l'enseignement des transformations chimiques discutés lors des premières réunions du groupe. L'hypothèse est faite que cette appropriation se manifeste dans le scénario des séances de classe, leur mise en œuvre et dans les discussions qui la suivent au sein du groupe. Un premier objectif de l'étude est de décrire l'activité enseignante pour identifier les choix effectués afin d'en inférer les raisons d'agir mais aussi les freins qui s'opposeraient à la prise en compte de certains aspects. Un second objectif vise à interpréter raisons et freins en termes de déterminants de l'activité enseignante (en classe et pour préparer la classe) et de ses effets pour inférer de possibles régulations conformément au cadre qui sous-tend cette étude de cas, exploratoire.

Méthodologie

Accéder aux choix et raisons des enseignants est possible lors d'entretiens d'allo-confrontation collective qui favorisent une expression directe de la pensée et des représentations d'un enseignant parmi des collègues lors des discussions (Body, 2021).

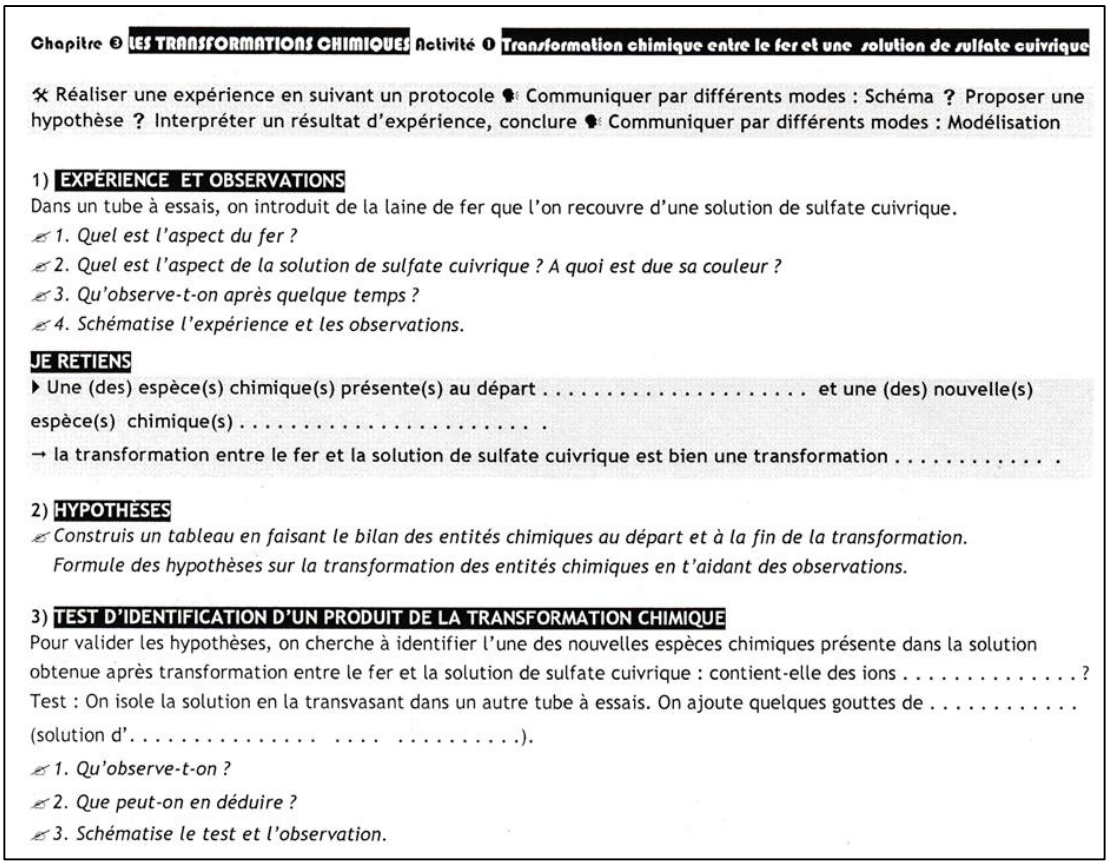
Données recueillies

Les données recueillies sont de deux types : une séquence d'enseignement sur les transformations chimiques en classe de troisième, et deux réunions de travail du groupe. La séquence a été filmée dans la classe de l'enseignante E1 en janvier 2020 durant 4 séances d'une heure. Deux réunions du groupe de travail ont été consacrées à l'analyse de cette séquence. L'une, celle de décembre 2020 (R1), se déroulait à distance en visio et a été filmée, l'autre (R2) a eu lieu en mars 2022 et a été enregistrée en audio. En accord avec le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD), le consentement de tous les participants a été obtenu (élèves et enseignantes).

La séquence d'enseignement filmée

La séquence filmée se compose de trois « activités » réparties en 4 séances. Le terme « activité » usuellement employé par les enseignants, les manuels scolaires et les programmes correspond à ce que la théorie de l'activité désigne par le terme de tâche (but à atteindre et indication des conditions). Pour éviter toute méprise, lorsque le terme activité est utilisé dans un sens autre que celui de la théorie de l'activité, il est mis entre guillemets.

Les séances 1 à 4 (voir tableau 1) ont été intégralement transcrites. Chaque « activité » est décrite sur une fiche élève (voir un extrait pour l'« activité » 1 sur la figure n° 4) et comporte les objectifs travaillés, des consignes, des questions, des savoirs à mémoriser, elle se présente comme une succession de tâches. À la suite des discussions menées au sein du groupe durant la première année principalement et après sa lecture du programme de physique-chimie de seconde entré en application à la rentrée 2019, E1 a introduit les termes transformation chimique, espèces chimiques et entités chimiques dans sa séquence, ce qu'elle ne faisait pas auparavant.



Chapitre 6 LES TRANSFORMATIONS CHIMIQUES Activité 0 Transformation chimique entre le fer et une solution de sulfate cuivrique

Réaliser une expérience en suivant un protocole Communiquer par différents modes : Schéma ? Proposer une hypothèse ? Interpréter un résultat d'expérience, conclure Communiquer par différents modes : Modélisation

1) EXPÉRIENCE ET OBSERVATIONS

Dans un tube à essais, on introduit de la laine de fer que l'on recouvre d'une solution de sulfate cuivrique.

1. Quel est l'aspect du fer ?

2. Quel est l'aspect de la solution de sulfate cuivrique ? A quoi est due sa couleur ?

3. Qu'observe-t-on après quelque temps ?

4. Schématise l'expérience et les observations.

JE RETIENS

▸ Une (des) espèce(s) chimique(s) présente(s) au départ . . . . . et une (des) nouvelle(s) espèce(s) chimique(s) . . . . . .

→ la transformation entre le fer et la solution de sulfate cuivrique est bien une transformation . . . . . .

2) HYPOTHÈSES

Construis un tableau en faisant le bilan des entités chimiques au départ et à la fin de la transformation. Formule des hypothèses sur la transformation des entités chimiques en t'aidant des observations.

3) TEST D'IDENTIFICATION D'UN PRODUIT DE LA TRANSFORMATION CHIMIQUE

Pour valider les hypothèses, on cherche à identifier l'une des nouvelles espèces chimiques présente dans la solution obtenue après transformation entre le fer et la solution de sulfate cuivrique : contient-elle des ions . . . . . ?

Test : On isole la solution en la transvasant dans un autre tube à essais. On ajoute quelques gouttes de . . . . . (solution d'. . . . . .).

1. Qu'observe-t-on ?

2. Que peut-on en déduire ?

3. Schématise le test et l'observation.

Figure n°4 : extrait de la fiche élève pour l'« activité » 1

Date	Thème de la séance
Avant 20 janvier	Document « je prends un bon départ » : révision sur transformation physique, transformation chimique, introduction des termes d'espèce chimique et entité chimique
20 janvier Séance 1	« Activité » 1 : Transformation chimique entre le fer et une solution de sulfate cuivrique (première partie)
24 janvier Séance 2	« Activité » 1 : Transformation chimique entre le fer et une solution de sulfate cuivrique (fin) Correction d'exercices sur transformation chimique, transformation physique et écriture d'équation de réaction
27 janvier Séance 3	« Activité » 2 : Transformation chimique entre le cuivre et une solution de nitrate d'argent (première partie)
3 février Séance 4	« Activité » 2 : Transformation chimique entre le cuivre et une solution de nitrate d'argent (fin) « Activité » 3 : Transformation chimique entre un acide et une base (début)

Tableau n°1 : contenus des séances filmées

Les réunions enregistrées

Lors de la première réunion R1, la séquence filmée chez E1 est présentée par l'une des chercheuses (C1), le but étant de recueillir les réponses de E1 aux questions de C1 (voir ci-

après dans l'analyse des données) et les commentaires des autres enseignantes (E2, E3, E4) du groupe. Lors de la deuxième réunion R2, C1 a résumé les trois points de discussion abordés durant R1 afin de déterminer si les choix, raisons et freins identifiés avaient évolué. Les échanges lors de R1 ont été intégralement transcrits, ceux de R2 l'ont été partiellement.

Analyse des données

Les données recueillies apportent des informations sur l'activité de E1 par trois voies différentes : la fiche élève donne accès à des éléments de l'activité de préparation, la transcription de la séquence à des traces de l'activité en classe, et les transcriptions des réunions à une partie de l'activité en situation de discussion réflexive collective. L'analyse des données s'effectue selon trois étapes.

Analyse de la première « activité » de la séquence filmée

Dans un premier temps, C1 a analysé la fiche proposée aux élèves pour l'« activité » 1 et les dialogues de classe (correspondant au deux premières séances) en recherchant les définitions de concepts ainsi que les registres et niveaux de savoirs de la chimie mis en jeu. Cela l'a conduite à présenter au groupe de travail lors de R1 une lecture orientée (Bednarz et al., 2012) de la fiche élève et des dialogues de classe questionnant l'approche de certains concepts et des registres et niveaux de savoirs. Le questionnement adressé par C1 à E1 est de nature cognitive sur les contenus proposés aux élèves et ne concerne pas la nature des tâches ou leur accompagnement en classe.

Dans sa présentation au groupe, C1 a prévu d'axer ses interrogations sur différents thèmes dans l'ordre suivant, sachant que certains thèmes peuvent comporter des recoupements :

- Les niveaux et les registres de savoirs abordés dans la fiche élève (aperçu global de celle-ci)
- Autour de transformation chimique dans la séance : définition, description, niveaux et registres utilisés.
- Rôle des ions sulfate (espèce spectatrice) : niveaux et registres utilisés.
- Espèce chimique – entité chimique : exemples d'usage au cours de la séance
- Passage de la transformation chimique à l'équation de réaction

Le premier thème interroge la structure et la formulation de la fiche donnée aux élèves tandis que les autres s'appuient sur des extraits des dialogues de classe ou des propos tenus en classe par E1. Pour certains, C1 présente une catégorisation des propos tenus selon qu'ils

peuvent être attribués au registre empirique (niveau macroscopique), au registre du modèle niveau macroscopique ou niveau submicroscopique, ou bien sont indéfinis au regard de ces registres (Canac et Kermen, 2018).

Analyse des échanges lors de la réunion R1

Puis, dans une deuxième étape deux analyses complémentaires ont été menées sur la transcription des discussions lors de R1. La première recherche les moments où E1 affirme ou justifie ses choix de contenus, la seconde les moments d'accord et de désaccord (Bednarz et al, 2012) entre participantes comme indices d'une position singulière de E1 (ou d'une autre enseignante), d'habitudes ou de connaissances professionnelles partagées entre enseignantes ou de difficultés d'appropriation des idées apportées par les chercheuses, freins potentiels à leur prise en compte. Des lectures répétées de la transcription avec une comparaison constante entre catégories en formation (choix de contenu, types d'accord, types de désaccord) et le texte de la transcription ont été faites pour stabiliser les catégories. Une synthèse des points d'accord et de désaccord conduit à retenir trois choix de E1 ayant fait l'objet de discussions.

Recherche de confirmation ou d'évolution lors de la réunion R2

La deuxième réunion R2 a eu lieu plus d'une année après la première réunion, et après deux nouvelles mises en œuvre de sa séquence par E1 durant les années 20-21 et 21-22. L'objectif de cette réunion pour C1 était de présenter le résultat de ses analyses aux enseignantes et à sa collègue chercheuse C2 et de recueillir leurs avis sur les trois choix controversés de E1. Au cours de cette réunion, E1 a réaffirmé ses choix et son accord avec les interprétations de C1, les autres enseignantes leur accord ou leur désaccord. À cette date, les choix de E1 tels que relevés par C1 étaient confirmés et n'avaient pas évolué.

Résultats : trois choix controversés

L'examen des dialogues de classe et les discussions lors de R1 (confirmées durant R2) révèlent trois choix controversés.

La dualité des noms et des formules

La signification duale des noms et formules chimiques n'est pas utilisée par E1, voire pas acceptée pour les ions. Elle use d'une formulation très claire, « un mot pour le macro, un mot pour le micro », pour dire qu'elle ne parvient pas à utiliser un nom (ou une formule) à la fois pour le macroscopique et le submicroscopique. Elle exprime à plusieurs reprises (voir

encadré n°1) sa difficulté à considérer les ions aussi comme espèce chimique puisqu'ils ne peuvent pas être isolés mais rejette la suggestion des chercheuses de distinguer alors substance et espèce chimique (Kermen et Canac, 2021). Au cours de la réunion il y a opposition entre d'un côté C1, C2 et E3 qui reconnaissent le caractère dual des noms et formules et de l'autre E1, E2 et E4.

E1 répète les mêmes arguments lors de la réunion R2. Ce choix résulte de l'existence d'une difficulté chez E1, considérée comme un frein à l'appropriation attendue par les chercheuses du caractère dual du langage (qui a fait l'objet de présentations explicites des chercheuses au sein du groupe). Cette difficulté traduit des connaissances insuffisantes du langage de la chimie voire de l'épistémologie de la chimie, difficulté non résolue par le programme de collège qui n'en dit rien. Ce choix signale un possible conflit chez E1, une tension entre les informations des programmes de collège et lycée (peu explicites, le caractère dual du langage n'est pas signalé) et celles données au sein du groupe de travail, facteur du déterminant social de son activité.

Extrait de R1 vers 20 minutes

E1 : j'ai du mal à envisager les ions comme des espèces chimiques parce que pour moi une espèce chimique elle existe par elle-même, l'ion cuivrique il existe pas par lui-même
C1 et C2 suggèrent alors de distinguer substance (isolable) et espèces chimiques ioniques.
E1 : oh là là, vous introduisez un troisième mot ! […]
E1 : avec des élèves de troisième, je trouve déjà faire la distinction macro-micro c'est bien mais je me vois mal leur faire la distinction substance espèce entité
Vers 1h
E1 : là c'est la première fois ce soir que je me dis que espèce ionique … non pour moi en fait je pense que c'est trop subtil pour moi, je suis comme les élèves au niveau troisième, moi je me suis juste fait deux cases la case macro la case micro et du coup espèce chimique macro entité chimique micro
E2 : moi je suis comme toi […]
E1 : J'ai peur que si j'essaye d'introduire le fait que l'ion cuivrique il est à la fois entité chimique et espèce ionique chimique j'ai peur d'en perdre mais je comprends bien, je comprends bien les remarques

Encadré n°1 : propos de E1 exprimant son refus de la dualité des noms et formules

E1 en appelle à un caractère de simplicité, qui serait bénéfique pour les élèves et elle-même. Au vu des propos tenus, E1 parait ressentir de la satisfaction avec la catégorisation qu'elle a adoptée. Rappelons que l'introduction des termes espèces chimiques et entités chimiques dans sa séquence est une nouveauté pour E1, ses propos peuvent être aussi considérés comme une régulation à moyen terme.

L'interprétation d'une transformation chimique en termes de transfert d'électrons

Le deuxième choix controversé concerne l'interprétation d'une transformation chimique mettant en jeu des espèces ioniques et atomiques : du fer au contact d'une solution aqueuse de sulfate de cuivre en solution conduit à la formation de cuivre et d'ions fer (II) en solution. À la fin de l'« activité » 1, E1 propose une interprétation en termes de transfert d'électrons à l'échelle atomique (un atome de fer donne deux électrons à un ion cuivre ce qui forme un ion fer (II) et un atome de cuivre) qui rencontre l'assentiment de E3 mais pas celui de E4 pour qui cela n'est pas au programme (voir encadré n°2).

Extrait de R1 vers 15 min

E1: Nulle part dans le programme on explique on doit expliquer comment un atome devient un ion comment un ion devient un atome mais moi je dis ça n'a aucun intérêt tout ce qu'on fait si on n'explique pas ça

Vers 37min

E4 : moi je m'interroge par rapport au programme que cette fois-ci j'ai sous les yeux est-ce que cette fin d'activité est nécessaire ?
E1 : elle est pas du tout au programme (..) mais pour moi elle est importante enfin pour moi c'est je suis pas prof de physique si je leur explique pas ça (..) moi mon rôle c'est pas seulement de mélanger des trucs et de voir que ça change de couleur, ça m'intéresse pas, ce qui m'intéresse c'est qu'ils appréhendent ce qui a pu se passer à l'échelle microscopique
E3 : oui moi je te rejoins complètement

Encadré n°2 : propos de E1 expliquant son choix d'interpréter une transformation chimique par un transfert d'électrons entre entités.

E1 revendique son choix « je suis pas prof de physique si je leur explique pas ça ». Le rôle d'un enseignant de physique-chimie consiste à faire utiliser aux élèves des modèles explicatifs pour interpréter. Ce « cri du cœur » exprime aussi la satisfaction que ce choix et

les actions qui en découlent lui apportent, se sentir bien dans son métier. Ce choix traduit la mobilisation par E1 d'une habitude professionnelle (déterminant social de l'activité) en opposition au programme actuel (déterminant institutionnel). Cette habitude s'est construite car E1 enseigne au collège depuis longtemps et d'anciens programmes mentionnaient cette interprétation parmi d'autres mettant en lumière le caractère explicatif de modèles de la matière incluant les électrons. Les habitudes professionnelles sont difficilement abandonnées par les enseignants lors de changement de programme (Couchouron et al., 1996).

L'écriture de l'équation de réaction

L'écriture de la réaction chimique et de son équation proposée par E1 en fin de séance 2 est en contradiction avec la définition qu'elle rappelle d'un réactif au début de la séance 1 et avec celle d'une réaction qu'elle énonce aux élèves, puisqu'elle y fait figurer les espèces spectatrices qui ne régissent pas. Lors de R1, E1 reconnait la contradiction tout en maintenant l'écriture qu'elle propose face aux interrogations de E2 et E3 (encadré n°3 page suivante).

Ce choix révèle des tensions entre les connaissances disciplinaires de E1 (au sein même du déterminant personnel) qui reconnait la contradiction mais la perpétue. La vive opposition de E2 et E3 à ce que fait E1 ne remet pas en cause ses raisons pendant R1, ni après. Les éléments fournis lors de R2 montrent qu'elle n'a pas changé cela en 2021 et 2022. Les effets de l'activité de E1 sur elle-même n'engendrent pas d'insatisfaction. Cette attitude peut s'expliquer par le fait que cette contradiction est peut-être répandue, elle est présente dans un manuel de cycle 4 (Azan, 2017) où la définition d'un réactif (p. 96) est contredite par l'écriture d'une équation de réaction avec les espèces spectatrices (p. 136). Elle repose probablement sur une ancienne signification du terme réactif, désignant ce qu'on utilise pour faire réagir - en anglais il existe deux termes : reagent et reactant (IUPAC, 2019).

Séance 1

E1 : les espèces chimiques qui disparaissent ce sont les réactifs

Séance 2

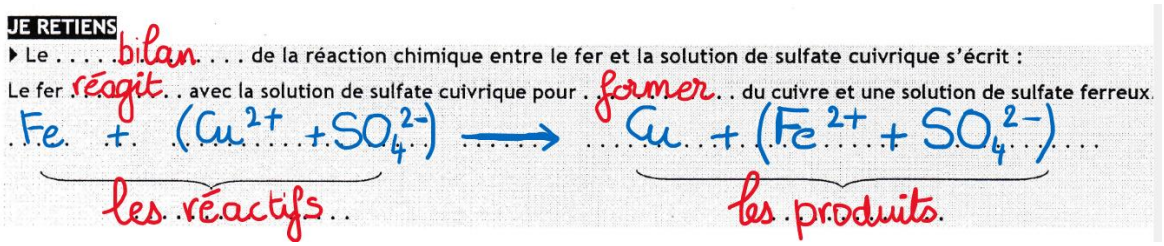
E1 : Les ions sulfate ne se sont pas transformés, on appelle ça des ions spectateurs. […]

E1 : on va faire le bilan de la transformation chimique (..) c'est une phrase qui s'écrit sous la forme réactif numéro un réagit avec réactif numéro deux pour former le produit numéro un et le produit numéro deux […]

E1 : le bilan de la réaction chimique entre le fer et la solution de sulfate cuivrique s'écrit ? Oui ?

Élève : le fer réagit avec la solution de sulfate de cuivrique

Reproduction du tableau à ce moment-là



Lors de R1

C1 : si tu te souviens, si vous vous souvenez de ce qu'E1 a fait dire aux élèves ce qu'étaient les réactifs au départ y a une contradiction

E1 : oui complètement […]

E2 : tu la laisses sous cette forme là l'équation de réaction tu rayes pas les ions sulfate après ? […]

E1 : non, pour que ce soit électriquement neutre des deux côtés

E3 : mais on n'en a pas besoin pour équilibrer les charges c'est équilibré en charge t'as deux plus d'un côté deux plus de l'autre

Encadré n°3 : extrait des séances de classe et de R1 à propos de l'écriture de l'équation de réaction où E1 reconnait une contradiction dans ce qu'elle dit aux élèves.

Discussion

Les accords entre enseignantes révèlent des connaissances d'erreurs récurrentes d'élèves et des habitudes partagées comme ne pas mentionner la présence d'eau (car non réactive) dans

une situation initiale comprenant une solution aqueuse ionique et un métal. Cette habitude pourrait générer chez les élèves une difficulté à prendre en compte l'idée d'espèce chimique spectatrice. Plus généralement elle coïncide avec une conception de l'enseignement où la construction du problème à résoudre, très balisée, est faite par l'enseignante, les élèves ne pouvant fournir que certaines hypothèses suggérées (Mathé et al., 2008).

Des désaccords proviennent d'interprétations personnelles du programme, peu explicite, fondées pour certaines par ce que préconisaient des programmes antérieurs et relevant alors d'habitudes professionnelles. Ils suggèrent une tension entre déterminants personnel, institutionnel et social de l'activité que chaque enseignante ne résout pas de la même manière.

Les résultats de cette étude de cas montrent une certaine fécondité du cadre adopté, le caractère explicatif des éléments génériques que sont les déterminants de l'activité et les effets de l'activité parait avéré.

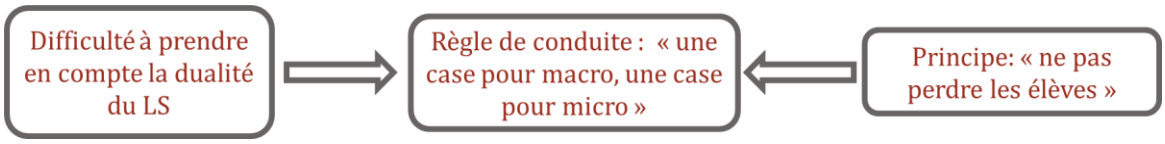
Un résultat nous parait devoir être questionné, il s'agit de la difficulté des enseignantes à prendre en compte la dualité du langage symbolique (LS) de la chimie. Marlot et Morge (2015) introduisent la notion de norme professionnelle pour décrire et expliquer certaines difficultés rencontrées par les enseignants dans l'exercice de leur métier.

> Le concept de norme professionnelle met l'accent sur le caractère collectivement construit et partagé de certaines normes qui sont ancrées dans les prescriptions primaires et secondaires ce qui leur confère leur légitimité. En ce sens, les normes ne sont ni individuellement construites ni ancrées sur des idées fausses comme les croyances ou les conceptions, mais sur des prescriptions. (Marlot et Morge, 2015, p.132).

Ils s'appuient sur l'exemple des démarches d'investigation et de leur mise en œuvre par les enseignants en France et en Suisse, très étudiées par les chercheurs, pour proposer l'association suivante.

À une classe de difficultés est associée une norme professionnelle qui s'exprime sous la forme d'une règle de conduite (plus facilement repérable par le chercheur qu'une norme) ; cette norme professionnelle est sous-tendue par une valeur qu'il est plus facile au chercheur d'exprimer par un principe.

Par la suite, Marlot et ses collègues introduisent la notion de norme professionnelle auto-prescrite, NAP, qui résulte pour partie d'une renormalisation de prescriptions par les acteurs (Marlot et al., 2019). Dans cette étude, la difficulté des enseignantes à prendre en compte la dualité du LS de la chimie se traduit par une règle de conduite chez E1, « une case pour le macro, une case pour le micro » qu'on peut attribuer à une interprétation personnelle des programmes de lycée (non explicites sur le langage symbolique), et qui reposerait sur un principe « ne pas perdre les élèves ».



L'existence de cette NAP reste une hypothèse à explorer.

La notion de NAP va au-delà de celle d'habitude professionnelle (élément du déterminant social de l'activité enseignante) dans la mesure où une NAP relève à la fois du déterminant personnel (interprétation d'une prescription), du déterminant social (hypothèse que cette lecture de la prescription est partagée par d'autres enseignants) et du déterminant institutionnel (existence d'une prescription).

Conclusion

Cette étude exploratoire visait à identifier les choix effectués par une enseignante pour concevoir et mettre en œuvre une séance en classe de troisième tenant compte d'une part, de sa perception des attendus du programme de seconde faisant une claire distinction entre des concepts du niveau macroscopique et d'autres du niveau submicroscopique, et d'autre part, de sa compréhension des discussions menés au sein du groupe autour des notions de transformation et réaction chimiques et du langage symbolique de la chimie. Cette identification repose sur les discussions menées au sein d'un groupe de travail mixte praticiennes-chercheuses et s'appuie sur la DADE et la double régulation de l'activité d'un sujet. Trois choix faisant l'objet de controverses entre membres du groupe ressortent des discussions : la signification duale des noms et formules chimiques, l'interprétation d'une transformation chimique en termes de transfert d'électrons entre entités chimiques et l'écriture d'une équation de réaction chimique. Des éléments des déterminants personnel, institutionnel et social de l'activité de l'enseignante ainsi que les effets de son activité lui apportant de la satisfaction permettent d'expliquer ses choix. L'analyse suggère des tensions

entre certains éléments des déterminants de l'activité qu'elle semble gérer grâce à des compromis : par exemple, introduire de nouveaux savoirs disciplinaires (distinguer espèce et entité) sans toutefois accepter la dualité du langage symbolique.

Références bibliographiques

Altet, M. (2002). Une démarche de recherche sur la pratique enseignante : l'analyse plurielle. *Revue française de pédagogie*, *138*(1), 85-93. https://doi.org/10.3406/rfp.2002.2866

Anadón, M. et Couture, C. (2007). La recherche participative, une préoccupation toujours vivace. Dans M. Anadón (dir.), *La recherche participative* (p. 1-7). Presses de l'Université du Québec.

Bednarz, N., Desgagné, S., Maheux, J.-F. et Savoie Zajc, L. (2012). La mise au jour d'un contrat réflexif comme régulateur de démarches de recherche participative : le cas d'une recherche-action et d'une recherche collaborative. *Recherches en éducation*, (14), 128-151. https://doi.org/10.4000/ree.5894

Body, G. (2021). Entretiens de confrontation aux traces vidéo de l'activité. Dans P. Guibert (dir.), *Manuel de sciences de l'éducation et de la formation* (p. 127-141). De Boeck Supérieur.

Canac, S. et Kermen, I. (2016). Exploring the mastery of French students in using basic notions of the language of chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, *17*, 452-473. https://doi.org/10.1039/C6RP00023A

Canac, S. et Kermen, I. (2018). *Introduction du langage symbolique de la chimie Observation de deux séances de classe ordinaires*. [communication orale].10e rencontres de l'Ardist, Saint-Malo. https://ardist.org/wp-content/uploads/2021/04/Canac_Kermen.pdf

Canac, S. et Kermen, I. (2020). Concepción de un recurso didáctico para introducir las fórmulas químicas en secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, *38*(2), 65-82. https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2739

Couchouron, M., Viennot, L. et Courdille, J.-M. (1996). Les habitudes des enseignants et les intentions didactiques des nouveaux programmes d'électricité en classe de quatrième. *Didaskalia*, (8), 81-96. https://doi.org/10.4267/2042/23777

IUPAC (2019) Reactant. *Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the "Gold Book").* https://goldbook.iupac.org/terms/view/R05163

Kermen, I. (2018). *Enseigner l'évolution des systèmes chimiques au lycée. Savoirs et modèles, raisonnements d'élèves, pratiques enseignantes.* Presses Universitaires de Rennes.

Kermen, I. et Canac, S. (2021). Espèce chimique, entité chimique, substance chimique ? Réflexion critique autour du glossaire d'accompagnement des programmes de chimie 2019. *Bulletin de l'union des physiciens*, *115*(1030), 29-41.

Leplat, J. (2006). La notion de régulation dans l'analyse de l'activité. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, (8-1). https://doi.org/10.4000/pistes.3101

Leplat, J. et Hoc, J.-M. (1983). Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahiers de psychologie cognitive*, *3*(1), 49-63.

Ligozat, F. et Marlot, C. (2016). Un espace interprétatif partagé entre l'enseignant et le didacticien est-il possible? Développement de séquences d'enseignement scientifique à Genève et en France. Dans F. Ligozat, M. Charmillot et A. Muller (dir.), *Le partage*

des savoirs dans les processus de recherche en éducation (p. 143-163). https://www.unige.ch/fapse/editions/publications/re/catalogue/2016/6/

Marlot, C., Audrin, C. et Morge, L. (2019). Des normes professionnelles auto-prescrites. Le cas de la mise en œuvre de la démarche d'enseignement scientifique en Suisse romande. *Recherches en éducation*, 35, 76-91. https://doi.org/10.4000/ree.1316

Marlot, C. et Morge, L. (2015). Des normes professionnelles à caractère doxique aux difficultés de mise en œuvre de séquences d'investigation en classe de sciences : comprendre les déterminations de l'action. *Recherches en éducation*, 21, 121-135. https://doi.org/10.4000/ree.7555

Marlot, C., Toullec-Théry, M. et Daguzon, M. (2017). Processus de co-construction et rôle de l'objet biface en recherche collaborative. *Phronesis*, *6*(1-2), 21-34. https://doi.org/10.7202/1040215ar

Mathé, S., Méheut, M. et de Hosson, C. (2008). Démarche d'investigation au collège : quels enjeux ? *Didaskalia*, 32, 41-76. https://doi.org/10.4267/2042/23980

Robert, A. (1999). Recherches didactiques sur la formation professionnelle des enseignants de mathématiques du second degré et leurs pratiques en classe. *Didaskalia*, (15), 123-157. https://doi.org/10.4267/2042/23878

Robert, A. (2008). La double approche didactique et ergonomique pour l'analyse des pratiques d'enseignants de mathématiques. Dans F. Vandebrouck (dir.), *La classe de mathématiques : activités des élèves et pratiques des enseignants* (p. 57-64). Octarès Editions.

Rogalski, J. (2003). Y a-t-il un pilote dans la classe ? Une analyse de l'activité de l'enseignant comme gestion d'un environnement dynamique ouvert. *Recherches en didactique des mathématiques*, *23*(3), 343-388.

Rogalski, J. (2007). *Approche de psychologie ergonomique de l'activité de l'enseignant* [communication orale]. La professionnalisation des enseignants de l'éducation de base: les recrutements sans formation initiale-Séminaire international CIEP, Sèvres, France. https://liseo.france-education-international.fr/index.php?lvl=notice_display&id=25653

Roy, P. (2021). *Des recherches participatives en éducation : convergences et divergences ?* [communication orale]. Haute école pédagogique Fribourg, Suisse (p. 12-34). https://folia.unifr.ch/global/documents/319870

Taber, K. S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, *14*(2), 156-168. https://doi.org/10.1039/c3rp00012e

Construction de savoirs conceptuels en sciences

Rôle des dynamiques intentionnelles d'un enseignant expérimenté

Blat Muriel, Boilevin Jean-Marie, Marzin-Janvier Patricia
CREAD, Université de Bretagne Occidentale – France

Résumé

Basée sur une étude de cas, cette recherche vise la compréhension de l'organisation de l'activité de conduite des apprentissages conceptuels par un professeur des écoles expérimenté en situation d'enseignement-apprentissage des sciences fondé sur l'investigation. Le cadre théorique mobilisé est celui de la conceptualisation dans l'action, augmenté d'un modèle dynamique des intentions basé sur une approche phénoménologique du didactique. Nos outils méthodologiques sont empruntés aux approches ergonomiques de la psychologie du travail et permettent de reconstruire les dynamiques intentionnelles de l'enseignant. Nos résultats, qui montrent que l'intentionnalité de construire un savoir conceptuel ne s'actualise pas ici en intention didactique de construire ce savoir, nous amènent à discuter de l'intérêt d'introduire un paradigme inférentialiste dans l'enseignement des sciences.

Des savoirs conceptuels en sciences

Depuis plusieurs décennies les prescriptions institutionnelles valorisent, à l'échelle mondiale, les pratiques fondées sur l'investigation pour l'enseignement des sciences et des

technologies. S'inscrivant dans ce contexte les prescriptions françaises incitent ainsi les enseignants, dès la fin des années 1990, à recourir à ces approches afin de proposer aux élèves des tâches plus ouvertes et de plus haut niveau cognitif (Boilevin, 2013). L'*ambition conceptuelle* portée par les prescriptions est immédiatement soulignée par Couchouron et al. (1996) et toujours d'actualité. En effet, la dernière version des programmes d'enseignement des sciences et technologies à l'école élémentaire souligne à plusieurs reprises la volonté de ces-derniers « d'introduire de façon progressive des notions et des concepts » (MEN, 2020, p. 170). La littérature de recherche pointe cependant les nombreuses difficultés rencontrées par les enseignants pour concevoir et mettre en œuvre des séances d'enseignement-apprentissage des sciences fondées sur l'investigation (EASFI) (Marlot et Morge, 2016) et met fréquemment en lumière la perte de densité épistémique au cours de telles séances (Furtak et al., 2012 ; Marlot, 2009). Constatant que les recherches portent la plupart du temps sur des enseignants débutants ou en formation initiale, et partant du présupposé qu'un enseignant expérimenté parvient davantage qu'un enseignant débutant à relier les réactions des élèves et les caractéristiques didactiques des situations qui les ont générées, nous nous demandons alors comment s'y prennent des professeurs des écoles expérimentés pour faire construire aux élèves des concepts scientifiques ou plus précisément : des *savoirs conceptuels*. Ceux-ci sont définis comme :

> « toute construction de l'esprit produite par l'activité humaine, qui permet de se représenter les objets du monde même en leur absence, et qui renvoie aux savoirs construits collectivement par la communauté scientifique, à un moment donné, pour se représenter ces objets du monde » (Perron et al., 2020, p. 201)

L'objectif de notre recherche consiste donc à analyser l'organisation de l'activité de guidage conceptuel d'un professeur des écoles expérimenté en situation d'EASFI afin de mieux comprendre les stratégies didactiques mobilisées. Présentons à présent le cadre théorique construit pour atteindre cet objectif.

Du modèle InDIS

Pour comprendre comment une conduite est générée en situation, Vergnaud (1994) questionne le rôle de l'enseignant au travers du concept de schème qu'il décrit selon quatre composantes : 1/ les buts et anticipations, 2/ les règles d'actions, de prise d'informations et de contrôle, 3/ les inférences, 4/ les invariants opératoires. Jameau (2021) reprend ce concept pour chercher à comprendre comment une conduite est générée précisément en situation

d'EASFI. Ses résultats l'amènent à prendre en compte un type d'informations bien spécifique : *les indices,* que le chercheur définit comme les réponses verbales ou non verbales des élèves. Jameau distingue donc les informations prises en compte par l'enseignant en situation de classe, de leur traitement qui relève des inférences et des règles d'action. Malgré cette redescription des éléments du schème, Jameau (ibid.) conclut que ces-derniers ne suffisent pas pour accéder au réel de l'activité au sens de Clot et Faïta (2000). Ainsi, pour mettre en regard ce que l'enseignant fait avec ce qu'il voulait faire, ce qu'il aurait pu faire, ou ce qu'il pense pouvoir faire ailleurs, Jameau (ibid.) suggère de reconstruire les intentions de l'enseignant. Reprenant cette proposition nous mettons au travail le modèle de l'intentionnalité esquissé par Portugais (1999). Ce modèle, en référence aux travaux de Searle (1983), définit un système composé de trois instances intentionnelles interdépendantes (I_0 ; I ; i). L'*Intentio* (I_0) représente les contraintes institutionnelles et sociales qui pèsent sur le projet d'enseignement du professeur. L'Intentionnalité (I) représente les intentions personnelles de l'enseignant, préalables à la situation d'enseignement-apprentissage. Celles-ci sont influencées par l'*Intentio* et s'actualisent en intentions didactiques[43] (i) au regard des indices perçus et pris en compte par l'enseignant en situation de classe. Selon ce modèle, les intentions du professeur (I et i) sont chacune caractérisées par l'objet visé (O), un mode psychologique (M) qui correspond à ce que l'enseignant croit, et une condition de satisfaction (C). C'est au niveau de ces caractéristiques et autour de la notion d'indice que nous procédons à une articulation des modèles du schème et de l'Intentionnalité (figure 1 ci-dessous), afin de mieux comprendre l'organisation de l'activité *réelle* d'un enseignant en situation d'EASFI. Nous considérons ainsi que l'objet d'une intention équivaut au but d'un schème et que le mode psychologique correspond à ce que l'enseignant croit vrai ou pertinent[44] pour agir, dans l'ici et maintenant de la situation d'EASFI. Les flèches indiquées sur la figure 1 soulignent des relations de

[43] Le terme *didactique* est pris ici dans un sens large qui englobe les aspects pédagogiques et se rapporte aux phénomènes de mise en circulation des savoirs dans le présent de la situation d'enseignement-apprentissage.

[44] Dans le modèle du schème (Vergnaud, 1994), ce que l'enseignant croit vrai ou pertinent pour agir dans une classe de situation (théorèmes et concepts en actes) constituent les invariants opératoires.

dépendance entre différents éléments du modèle. Ainsi, l'Intentionnalité dépend des contraintes institutionnelles et sociales (I_0), les indices pris en compte par l'enseignant dépendent des conditions de satisfaction de l'intention (I ou i) et permettent à ce dernier de réaliser des inférences qui vont-elles-mêmes générer l'actualisation d'une Intentionnalité en intention didactique.

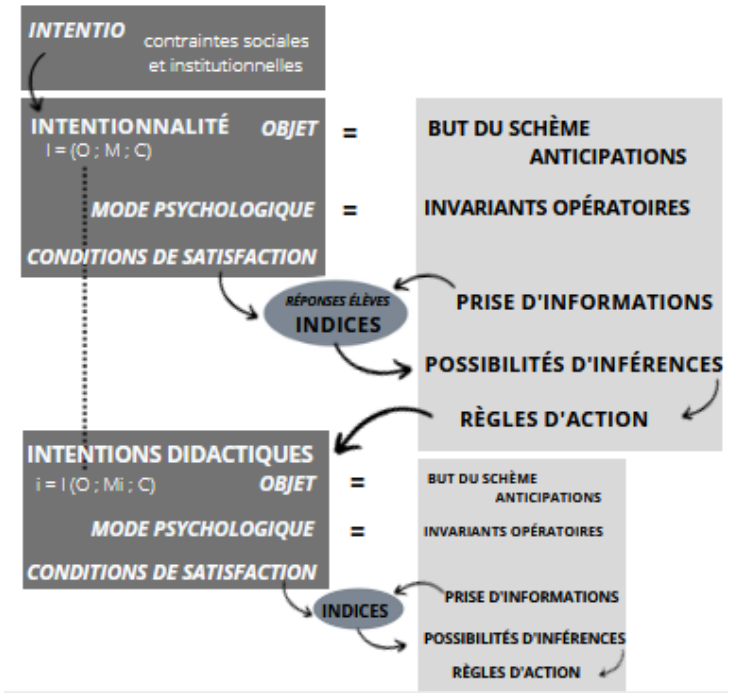


Figure n°1 : Modèle InDIS

L'analyse de l'activité enseignante nous permet de reconstruire les intentions didactiques effectives du professeur, et un raisonnement par contrefactuel (Sensevy et Vigot, 2016) nous permet de reconstruire d'autres intentions didactiques possibles, au regard de ce que l'enseignant voulait faire et des indices qu'il prend en compte en situation d'interaction. Reconstruire les dynamiques intentionnelles d'un enseignant revient alors à décrire comment ses Intentionnalités s'actualisent en intentions didactiques, et la question de recherche que nous posons est la suivante : Qu'est-ce que la reconstruction des dynamiques intentionnelles d'un professeur des écoles expérimenté à l'aide du modèle InDIS révèle de l'organisation de son activité de guidage conceptuel en situation d'EASFI ?

Une méthodologie qualitative de type ascendant, que nous décrivons à présent, nous outille pour répondre à cette question.

Méthodologie

Le cas de Patrick[45] présenté ici est extrait d'une étude doctorale plus large (Blat, 2022). Patrick, enseignant de CM2 issu d'une formation initiale scientifique, enseigne depuis quatorze ans dont dix au cycle 3 et a suivi deux formations académiques à l'enseignement des sciences au cours des trois dernières années. Tout au long de son parcours professionnel et dans le cadre de décloisonnements, Patrick a souvent pris en charge d'autres classes que la sienne afin d'enseigner les sciences et les technologies. Nous le considérons donc comme expérimenté. Notre corpus de données est constitué de traces effectives de l'activité enseignante qui nous permettent de remonter à son activité mentale. Ces données sont : 1/ la fiche de préparation de l'enseignant, portant sur une séquence ordinaire (Schubauer-Leoni, 2002) d'EASFI visant la construction du concept de propriété de la matière au CM2 ; 2/ la captation audio-visuelle de la première séance de cette séquence ; 3/ deux entretiens : le premier, de type semi-directif, a lieu avant le recueil vidéo (entretien *ante* vidéo) et vise à faire clarifier par l'enseignant ses buts, ses anticipations, ses invariants opératoires et ses Intentionnalités. Le second entretien est de type auto-confrontation explicitante (Cahours et al., 2018). Il a lieu quelques jours après la séance vidéoscopée (entretien *post* vidéo) et vise à recueillir les propos de l'enseignant sur sa propre activité (indices relevés, inférences, règles d'actions, autres invariants opératoires et intentions didactiques) en évitant de faire émerger toute reconstruction de raisons qui n'existaient pas au moment de la séance. Ce second entretien se focalise sur des incidents critiques, définis par Leclerc et al. (2010) comme de petits évènements survenus de manière fortuite et qui surprennent suffisamment l'enseignant pour l'amener à engager sa réflexivité en situation d'interaction. Ces auteurs soulignent que l'analyse des incidents critiques se montre souvent révélatrice des schèmes interactifs mobilisés également dans d'autres situations et ne se résume en aucun cas à une recherche des défaillances ou des limites de compétence de l'enseignant.

Les traces de l'activité enseignante antérieures à la séance vidéoscopée nous permettent de reconstruire le plan prévu pour la séance, et la séance vidéoscopée nous permet de nous

[45] Prénom d'emprunt.

appuyer sur l'activité réelle pour repérer les écarts à ce plan prévu et donc les incidents critiques sur lesquels nous faisons porter l'entretien post vidéo. À l'aide du logiciel Sonal (Alber, 2013) nous découpons les entretiens selon plusieurs catégories conceptuelles : 1/ ce que l'enseignant vise à tel moment précis (objet de son intention) ; 2/ les indices qu'il perçoit et prend en compte pour avancer vers l'atteinte de cet objet ; 3/ ce que l'enseignant croit vrai ou pertinent pour agir, en termes d'enseignement ou d'apprentissage des sciences ; 4/ la manière dont il met fin à l'évènement, qui révèle les conditions de satisfaction de son intention ; 5/ les inférences qu'il réalise ; 6/ ses règles d'actions. La figure 2 ci-dessous illustre comment les différentes Intentionnalités reconstruites (I_1, I_2, I_3…) s'actualisent en intentions didactiques effectives (qui organisent effectivement l'activité enseignante : i_3) ou pourraient s'actualiser en intentions didactiques possibles (i_3', i_3''…) au regard des indices pris en compte par l'enseignant en situation d'interaction.

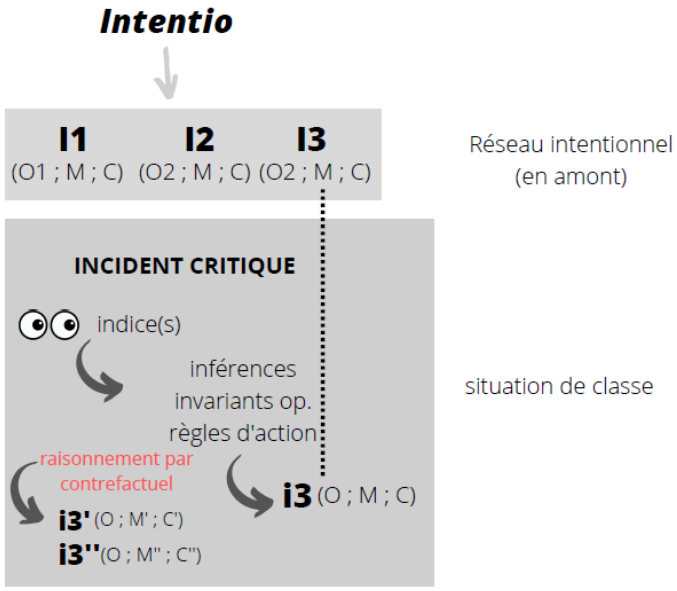


Figure n°2 : Reconstruction des dynamiques intentionnelles

Nous exposons à présent les résultats obtenus.

Résultats

Pour commencer, nous présentons notre reconstruction de l'Intentionnalité de Patrick de faire construire un savoir conceptuel ($I_{SAV\text{-}C}$). Pour cela nous identifions l'objet de cette Intentionnalité, ce que Patrick croit vrai ou pertinent pour faire construire le savoir conceptuel visé et les conditions de satisfaction de cette Intentionnalité. Nous reconstruisons

ensuite les dynamiques intentionnelles de Patrick lors de deux moments spécifiques de la séance afin de mettre au jour l'organisation de son activité de guidage des savoirs conceptuels.

Du plan prévu

La séance observée est la première séance d'une séquence qui porte sur les propriétés de la matière en CM2 et le plan de la séance prévu par Patrick est le suivant :

Phases de la séance	But de chaque phase
1/ une phase introductive	Réactiver les savoirs précédemment institutionnalisés sur la matière.
2/ une phase corrective[46]	Formuler collectivement les définitions de douze propriétés physiques de la matière[47].
3/ une phase de recherche par groupes de deux à quatre élèves	Chaque groupe doit élaborer un protocole expérimental qui permettra, lors d'une seconde séance, de caractériser différents matériaux au regard de la propriété de la matière choisie par le groupe.
4/ une phase de *communication*[48]	Par groupe, présenter le protocole expérimental imaginé à la classe afin de générer des échanges voire des débats.
5/ une phase conclusive	Faire un bilan de la séance et projeter les élèves dans la suite de la séquence.

Tableau n°1 : vision synoptique du plan prévu

Lors de l'entretien ante vidéo, l'enseignant explicite son projet d'enseignement et souligne que l'important pour lui dans cette séance n'est pas tant que les élèves comprennent « ce

[46] Nous choisissons le terme *correctif* du fait que l'enseignant distribue à la fin de cette phase ce qu'il nomme une « fiche corrective » des définitions des douze propriétés de la matière en question dans cette séance.

[47] Adhérence, combustibilité, conductibilité électrique, conductivité thermique, densité, dureté, élasticité, flexibilité, magnétisme, miscibilité, rigidité, solubilité.

[48] Le terme *communication* est à entendre ici dans le sens de communication scientifique, c'est-à-dire : présentation de ses travaux à ses pairs et discussion.

qu'est chaque propriété de la matière », mais « qu'ils s'interrogent sur ces propriétés pour qu'ils comprennent de manière générique ce que c'est qu'une propriété ». Il souligne ensuite que « c'est le concept de propriété qui est dur à appréhender pour les élèves ». De notre point de vue, ces propos révèlent l'objet d'une Intentionnalité de faire construire le concept de propriété de la matière ($I_{SAV\text{-}C}$). Pour y parvenir Patrick juge pertinent de demander aux élèves de rechercher de manière autonome, en amont de la séance, les définitions de douze propriétés de la matière. Celles-ci sont jugées comme principales par le fichier[49] utilisé par Patrick et ses collègues comme support de leurs enseignements scientifiques. Ainsi, après quelques rappels des savoirs construits sur la matière (phase 1), l'enseignant prévoit un temps d'échange oral collectif pour faire reformuler ces propriétés de la matière et distribuer « une petite correction pour les élèves qui n'ont pas cherché ou pas trouvé toutes les définitions » (phase 2). Selon l'enseignant, les élèves doivent en effet bénéficier d'une première connaissance de ces propriétés de la matière pour pouvoir s'impliquer dans la situation de recherche imaginée ensuite. La phase de recherche (phase 3) apparait comme le moment clé de la séance. En effet, l'enseignant précise que pour que les élèves comprennent ce qu'est une propriété de la matière, ils doivent être placés « en situation de recherche » afin de se poser des questions. Patrick juge alors pertinent de les laisser « libres d'explorer en petits groupes » et libres de se tromper, afin que leurs erreurs ou hésitations soient ensuite discutées et débattues (phase 4) pour permettre à chacun « d'apprendre des choses avec l'ensemble du groupe ».

Analysons la manière dont s'organise l'activité enseignante de guidage conceptuel en reconstruisant les dynamiques intentionnelles de Patrick au cours de la phase de recherche, puis au cours de la phase de communication. Nous illustrons nos résultats par l'exemple de deux élèves qui ont choisi de réfléchir sur la propriété d'élasticité.

Dynamique intentionnelle de $I_{SAV\text{-}C}$ en phase de recherche

Au cours de la phase de recherche, l'activité observable de l'enseignant auprès de chaque groupe fait ressortir quelques règles d'actions. Nous constatons ainsi que Patrick s'assure

[49] Sciences et technologies Cycle 3 CM1-CM2 – Éditions MDI 2016

invariablement que les élèves parviennent à généraliser leur proposition d'expérience en un protocole expérimental reproductible dans lequel le paramètre variable est bien identifié. Nous constatons également que l'enseignant lit à voix haute la définition de la propriété de la matière choisie par chaque groupe, afin de vérifier avec les élèves que le protocole expérimental proposé est « cohérent avec la propriété de la matière qu'il vise à caractériser ». Enfin, Patrick réoriente parfois la recherche de certains groupes mais ce n'est pas systématique. Il nous explique au cours de l'entretien post vidéo que « l'erreur fait partie du jeu » et qu'il ne « réoriente les élèves que si leur proposition n'est pas exploitable » en précisant qu'une erreur *exploitable* est une erreur « dont on peut débattre pour apprendre des choses avec l'ensemble de groupe ».

Les règles d'actions, modes psychologiques et conditions de satisfactions de l'enseignant ainsi identifiés, augmentés des commentaires de ce-dernier sur son activité, nous permettent de caractériser son intention didactique lors de cette phase de recherche (tableau 2 ci-dessous).

	Caractéristiques de $i_{SAV\text{-}C}$
O	Amener les élèves à se questionner pour construire le savoir conceptuel visé.
M	• Il est pertinent de vérifier que le protocole expérimental proposé soit reproductible. • Il est pertinent de vérifier que les élèves identifient le paramètre variable. • Il est pertinent de « questionner l'adéquation entre la propriété choisie et le protocole expérimental proposé », *et pour cela : de relire la définition de cette propriété de la matière*. • Il est pertinent de « réorienter la recherche des élèves si leur production n'est pas exploitable, ne permet pas de débattre pour apprendre ».
C	Les élèves ont abouti à une production partageable, discutable même si elle est erronée.

Tableau n°2 : Actualisation de $I_{SAV\text{-}C}$ en $i_{SAV\text{-}C}$ en phase de recherche

La dynamique intentionnelle du guidage conceptuel, c'est-à-dire l'actualisation de $I_{SAV\text{-}C}$ en $i_{SAV\text{-}C}$ au cours de la phase de recherche semble donc indiquer que Patrick agit selon un paradigme constructiviste lors de cette phase. L'enseignant accorde en effet une grande importance au questionnement des élèves et laisse à ces-derniers le temps de réfléchir pour

élaborer des propositions. En outre, Patrick se tient à l'écoute de leurs erreurs tout en faisant preuve de réticence didactique (Sensevy et Quilio, 2002) de façon à ne guider la construction de savoirs conceptuels qu'au cours de la phase de communication. Nous constatons également qu'au cours de cette phase de recherche, l'enseignant choisit de ne guider les élèves que sur des aspects méthodologiques (reproductibilité de l'expérience, identification du paramètre variable, vérification de la cohérence du protocole expérimental proposé avec la propriété choisie, réorientation des élèves en cas d'impasse). Les aspects conceptuels ne sont volontairement pas abordés à ce stade de la séance car Patrick prévoit de le faire au cours de la phase de communication au travers de débats soulevés par les erreurs des élèves.

L'analyse d'un incident critique nous apporte un élément supplémentaire pour mieux comprendre comment cette intention didactique organise l'activité de Patrick. Pour résoudre la tâche prescrite par l'enseignant, deux élèves s'appuient sur une expérience qu'elles ont réalisée auparavant, hors du contexte scolaire. Il s'agit de plonger un bracelet « magique » dans l'eau chaude pour le voir se déformer (se rapetisser selon elles) puis dans l'eau froide pour le voir reprendre sa forme initiale. Les élèves considèrent que cette expérience illustre l'élasticité du bracelet puisque, selon la définition de l'élasticité qu'elles avaient trouvée en amont de la séance, l'élasticité est *la capacité d'un matériau à se déformer et à reprendre sa forme initiale*. L'enseignant semble surpris et son propos[50] montre selon nous des hésitations révélatrices de l'engagement de sa réflexion :

> « D'accord donc c'est avec la température que tu vas euh +++ ok + alors c'est pas vraiment ça l'élasticité ++ euh + parce que là en fait ça va être euh ++ là c'est votre matière qui va changer de forme en fonction de la chaleur + donc ça c'est autre chose que vous testez +++ euh +++ euh [P. hésite et relit la définition sur la feuille des élèves] + remarque si ++ si si ben si + allez-y faites comme ça + en même temps ça répond bien à la définition + on a un matériau qui va se déformer et qui va reprendre sa forme initiale + »

Lors de cet incident critique, Patrick infère tout d'abord que les élèves « se trompent » car selon lui, il n'y a pas d'adéquation entre la propriété choisie et le protocole expérimental

[50] Les conventions de transcription utilisées sont celles de Vion (2000) où les signes + indiquent des pauses dans le discours. Plus il y a de signes + et plus la pause est longue.

proposé, c'est-à-dire que le protocole expérimental imaginé « ne permet pas de caractériser l'élasticité d'un matériau ». Cependant, après relecture de la définition inscrite sur la feuille des élèves, Patrick conclut que la proposition est acceptable puisque le bracelet « va se déformer et reprendre sa forme initiale ». La règle d'action mobilisée (relecture de la définition) ne lui permet pas dans ce cas de susciter le doute chez les élèves pour qu'elles puissent, comme il le souhaiterait, reconsidérer l'adéquation entre la définition de l'élasticité d'un matériau et le protocole expérimental imaginé. L'enseignant nous confie alors en aparté lors de la séance : « je ne sais pas comment traiter leur truc ». Faire preuve de réticence didactique lors de cette phase de recherche pourrait donc être une stratégie permettant à la fois aux élèves « d'aller au bout de leurs idées » comme le souligne Patrick, mais également de laisser du temps à l'enseignant pour construire une réponse aux indices perçus lorsque celle-ci n'est pas immédiate.

Regardons à présent ce qu'il se passe au cours de la phase de communication pour essayer de comprendre la dynamique de $I_{SAV\text{-}C}$ au regard des indices relevés par l'enseignant au cours de la phase de recherche.

Dynamique intentionnelle de $I_{SAV\text{-}C}$ en phase de communication

Nous constatons que lors de cette phase de communication Patrick met en œuvre les mêmes règles d'actions que dans la phase de recherche, c'est-à-dire qu'il questionne chaque groupe sur la reproductibilité de l'expérience, sur le paramètre variable, et relit à voix haute la définition de la propriété choisie afin de faire vérifier par les élèves la cohérence du protocole expérimental proposé avec la propriété choisie. Nous constatons, en outre, que les débats envisagés prennent la forme d'un cours dialogué dans lequel les interventions des élèves se trouvent très réduites au regard de celles de l'enseignant qui valide ou invalide lui-même les protocoles expérimentaux proposés et apporte des connaissances.

Ces constats nous amènent à questionner l'objet de l'intention didactique effective de Patrick au cours de cette phase. En effet, alors que l'enseignant exprimait dans l'entretien ante vouloir faire débattre les élèves « pour apprendre des choses avec l'ensemble du groupe [sous-entendu : sur le concept de propriété de la matière] », nous constatons qu'il leur demande de s'exprimer pour institutionnaliser le fait qu'un protocole expérimental doit être cohérent avec la propriété physique qu'il vise à caractériser. Cela nous amène à reconstruire, relativement à l'événement élasticité, non seulement l'intention didactique effective de Patrick (tableau 3) mais également *un autre possible* (tableau 4) correspondant à ce que

l'enseignant aurait pu faire au regard de ce qu'il voulait faire et des indices qu'il a perçus en situation de classe.

	Caractéristiques de i_{SAV} effective
O	Débattre pour apprendre…*qu'un protocole expérimental doit être cohérent avec la propriété physique qu'il vise à caractériser.*
M	• Il est pertinent de relire LA définition de l'élasticité (celle proposée par l'enseignant comme « correction » qui diffère de celle des élèves à un mot près[51]). • Il est pertinent d'apporter soi-même le savoir (c'est l'enseignant qui invalide la proposition des élèves et explique que l'élasticité se traduit par un étirement de la matière).
C	Le protocole expérimental proposé par les élèves est (in)validé.

Tableau n°3 : Actualisation de $I_{SAV\text{-}C}$ en $i_{SAV\text{-}C}$ en phase de communication

Nous remarquons que dans cette phase de communication l'enseignant ne s'appuie pas sur la proposition des élèves pour conduire un débat mais qu'il recourt à des arguments d'autorité (Morge, 2016) pour valider ou invalider la proposition des élèves. Dans le cas de l'élasticité, il l'invalide. Nous en concluons que Patrick n'agit plus à ce moment-là selon un paradigme constructiviste :

> « Alors + effectivement on retrouve bien la forme initiale à la fin + mais + quelle est la première partie de la définition + [P. reprend une nouvelle fois la fiche corrective et lit] capacité d'un matériau à s'ÉTIrer + est-ce que votre matériau il s'étire au début avec votre expérience [une des deux élèves fait non de la tête] + non + donc votre expérience/ mais c'est pas grave hein […] et ben là votre expérience elle permet PAS + de ::: de définir et de démonter l'élasticité d'un matériau + parce qu'on n'a pas + d'allongement d'un matériau et après de ::: ben de reprise ou pas de sa forme initiale […] d'accord' [les deux élèves acquiescent silencieusement] ».

[51] Élasticité : capacité d'un matériau à s'*étirer* et à reprendre sa forme initiale.

En nous demandant ce qui aurait été différent si la condition de satisfaction de son l'intention didactique de Patrick avait été davantage centrée sur la mise au travail du concept de propriété de la matière (raisonnement par contrefactuel), nous reconstruisons l'intention didactique suivante :

	Caractéristiques de $i_{SAV\text{-}C}$ possible
O	Débattre pour apprendre…*qu'une propriété de la matière « c'est une caractéristique que possède un matériau »*
M	• Il pourrait être pertinent de relire les deux définitions de l'élasticité (celle proposée par l'enseignant comme « correction » et celle initialement proposée par les élèves). • Il pourrait être pertinent de questionner les élèves sur leur compréhension des nuances portées par les termes « se déformer » et « s'étirer » pour conclure que *l'étirement* correspond à un type de déformation (déformation mécanique), et que la déformation envisagée par les élèves dans leur protocole relève d'un autre type de déformation (déformation thermique).
C	Le concept d'élasticité devient prétexte à mettre au travail le concept de propriété de la matière.

Tableau n°4 : Actualisation possible de $I_{SAV\text{-}C}$ en phase de communication

Si l'espace des intentions didactiques est défini par Portugais (1999) comme *un espace des possibles*, nous remarquons que la reconstruction d'un autre possible souligne ici l'originalité de la proposition des élèves. Celle-ci en effet, suggère de tester l'élasticité d'un matériau sous contrainte de la température[52], alors que la forme d'élasticité la plus souvent rencontrée dans le quotidien est celle qui relève d'une déformation mécanique. Nous pouvons donc conclure que ces deux élèves possèdent des notions sur le concept de propriété de la matière. Or, la phase de communication telle qu'elle est menée ne permet pas de valoriser ces connaissances, voire même, les met en doute si l'on en croit l'incompréhension qui se lit sur le visage de ces deux élèves face à l'invalidation de leur protocole expérimental.

[52] Le terme scientifique pour désigner précisément cette propriété est la thermoélasticité.

En effet, aucune interaction explicite relative au concept de propriété de la matière n'est observée : les élèves ne se risquent pas à argumenter et acceptent la conclusion de l'enseignant qui est très attentif à les féliciter et à dédramatiser ce qu'il pointe comme une erreur.

Nous constatons en outre, lors de l'entretien post vidéo, que Patrick n'envisage pas de lui-même cet *autre possible* reconstruit par le chercheur :

> « l'expérience des filles avec leur élastique qu'elles ont voulu chauffer et refroidir où effectivement euh :: alors j'avais pas bien le/ j'avais pas bien la définition de la propriété en tête et euh :: et c'est sur la fin que euh :: ben j'ai rebondi et j'ai pu leur expliquer que leur expérience ben du coup n'était pas concluante euh :: du point de vue de l'élasticité […] et du coup au début quand elles m'ont présenté leur truc je me suis dit mais nan c'est ça marche pas ça prouve pas l'élasticité mais pourquoi + pourquoi/comment je leur fais comprendre que nan euh :: elles ne testent pas l'élasticité avec leur expérience et du coup euh voilà je l'ai pas retrouvé au début et c'est en relisant la définition après je me suis dit ah mais oui je suis bête ya pas de déformation /enfin ya pas d'étirement à l'origine donc c'est ça qui manque dans leur expérience ».

Selon nous, ce commentaire de l'enseignant sur son activité met en lumière un rapport au savoir qui se révèle très définitionnel. En effet, il estime qu'il n'avait pas *la bonne* définition en tête au moment des interactions qui se tiennent en phase de recherche. Cela semble l'empêcher, d'une part, de percevoir l'intérêt didactique de la proposition de ces élèves, et d'autre part, de mesurer l'état des connaissances des élèves relativement au concept qu'il vise à faire construire. Enfin, en termes d'analyse des résultats de son activité, Patrick précise qu'il « fait à [sa] sauce » et considère que le but de la séance est atteint parce que de nombreuses propriétés de la matière ont été abordées par les propositions de protocoles expérimentaux. Selon lui, c'est au travers de ces nombreux exemples de propriétés de la matière que les élèves vont construire ce concept. Ces résultats soulèvent deux points de discussion que nous développons à présent.

Discussion conclusive

Le recours au modèle InDIS pour reconstruire les dynamiques intentionnelles de l'enseignant montre que dans cette situation d'EASFI, l'intentionnalité de Patrick de faire construire un savoir conceptuel s'actualise en intention didactique de faire construire *un* savoir, mais que celui-ci n'est plus *le savoir conceptuel* initialement visé. Autrement dit, cet

enseignant ne fait pas ce qu'il voulait faire alors même que la situation lui permettait de le faire, et ce-dernier ne semble pas le percevoir. De son point de vue, les élèves étaient impliqués dans les tâches à réaliser et « ont appris des choses ». L'enseignant semble donc avoir rencontré les conditions de satisfaction de son Intentionnalité d'impliquer les élèves, et de son Intentionnalité de faire construire des savoirs sans prendre la mesure qu'il a mis de côté les savoirs conceptuels pour se centrer sur des savoirs méthodologiques. Selon nous, ce premier résultat fait écho à ce que Sarmant (1999) qualifie de dérive vers le tout méthodologique, dérive qui entraine une perte de densité épistémique au cours de la séance puisque les aspects méthodologiques prennent le pas sur les aspects conceptuels initialement visés. Si ce type de dérive est souvent attribué au manque de connaissances scientifiques des professeurs des écoles, l'étude du cas de Patrick suggère une autre interprétation. En effet, Patrick est un professeur des écoles expérimenté issu d'une formation initiale scientifique, ce qui nous amène à penser que la difficulté d'actualiser $I_{SAV\text{-}C,}$ constatée ici, est moins imputable à un déficit de connaissances scientifiques qu'à une difficulté à mettre en relation les résultats de son activité avec ce qu'il voulait faire et les moyens mis en œuvre pour y parvenir. En termes de résultats, l'enseignant estime que ses élèves sont impliqués dans les tâches qu'il leur a prescrites et que certains savoirs ont pu être construits. Cela lui renvoie le sentiment d'avoir rencontré les conditions de satisfaction de ses intentions didactiques : pourquoi alors engagerait-il une réflexion cognitivement coûteuse pour transformer ses règles d'actions ? Patrick n'en perçoit pas l'utilité et souligne « qu'avec l'expérience on s'adapte à toutes les situations » et que l'on apprend à « faire à sa sauce ».

L'expression « faire à sa sauce » nous amène au deuxième point de cette discussion. En effet, le recours au modèle InDIS pour reconstruire les dynamiques intentionnelles de Patrick en situation d'EASFI met en lumière le fait que Patrick n'agit pas selon le même paradigme en fonction des phases de la séance. Il passe d'un paradigme constructiviste, dans lequel le questionnement de l'élève est encouragé et l'erreur est envisagée comme source d'apprentissage, à un paradigme ontologique (Jonnaert, 2002), qui se traduit par un recours de l'enseignant à des arguments d'autorité (Morge, 2016). Il ne s'appuie alors plus sur les propositions des élèves pour ce qu'elles permettent d'inférer de leur compréhension des concepts en jeu, ni pour nourrir les discussions ou débats permettant une médiation du savoir. La reconstruction des dynamiques intentionnelles de Patrick révèle donc que celui-ci, bien qu'expérimenté, agit selon un *patchwork épistémologique* (Roletto, 1998) sans s'en rendre compte. Selon Jonnaert (2002), ce phénomène est très préjudiciable aux apprentissages des

élèves, et nos résultats semblent converger vers cette affirmation. Afin d'aider les enseignants à clarifier leur positionnement épistémologique, suffit-il alors de mieux former les enseignants en épistémologie comme le proposent de nombreux chercheurs en didactique des sciences ? Si une formation en épistémologie semble en effet nécessaire, Causton (2019) propose d'aller plus loin en introduisant le paradigme inférentialiste dans l'enseignement des sciences. Selon nous, un intérêt de cette proposition consiste à placer les enseignants à distance des querelles qui opposent enseignement explicite et constructivisme. Ces-dernières, en effet, font parfois perdre leurs repères aux enseignants qui ne savent plus de quelle approche explicite ou de quel constructivisme il est question dans les discussions, ce qui les encourage in fine à faire « à leur sauce » comme le formule Patrick. Cette proposition invite également, dans une perspective de développement professionnel des enseignants, à penser de nouveaux outils pour aider les enseignants à analyser la manière dont ils traitent les indices qu'ils perçoivent en classe pour inférer les connaissances des élèves et développer des stratégies de médiation des savoirs conceptuels.

En guise de conclusion, nous soulignons que l'approche proposée dans cette recherche permet, selon nous, d'analyser l'activité enseignante en situation d'EASFI sous un angle nouveau et ouvre des perspectives pour accompagner le développement professionnel des enseignants en situation d'EASFI. Nous nous gardons cependant de généraliser nos résultats à partir de la seule étude du cas de Patrick et considérons que de nouvelles analyses doivent être menées auprès d'autres enseignants, dans d'autres situations d'EASFI portant sur d'autres savoirs conceptuels. Il nous semble également nécessaire à présent de mettre à l'épreuve le modèle InDIS dans le cadre d'une ingénierie coopérative afin d'analyser, d'une part, la manière dont les enseignants s'en emparent pour mieux comprendre l'organisation de leur activité de guidage conceptuel et, d'autre part, dans quelle mesure cette appropriation les amène à transformer leur pratique pour favoriser les apprentissages conceptuels des élèves.

Références bibliographiques

Alber, A. (2013). Sonal (Version 2.1.41) [logiciel]. https://etics.univ-tours.fr/version-francaise/on-aime/sonal-logiciel-gratuit-et-innovant-de-retranscription-dentretiens.

Blat, M. (2022). *Étude didactique des dynamiques intentionnelles de professeurs des écoles expérimentés. Cas de l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation* [Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale]. HAL. https://hal-anses.archives-ouvertes.fr/THESES-UBO

Boilevin, J.-M. (2013). La place des démarches d'investigation dans l'École Normale Supérieure de l'enseignement des sciences. Dans M. Grangeat (dir.), *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques de classe* (p. 23-44). Presses Universitaires de Grenoble.

Cahour, B., Licoppe, C., et Créno, L. (2018). Articulation fine des données vidéo et des entretiens d'auto-confrontation explicitante : Étude de cas d'interactions en covoiturage. *Le Travail Humain*, *81*(4), 269-305.

Clot Y. et Faïta, D. (2000). Genre et styles en analyse du travail, concepts et méthodes. *Travailler*, *4*, 7-42.

Causton, E. (2019). Bringing Inferentialism to Science Education. *Science & Education*, *28*(1), 25-43.

Couchouron, M., Viennot, L. et Courdille, J.-M. (1996). Les habitudes des enseignants et les intentions didactiques des nouveaux programmes d'électricité en classe de quatrième. *Didaskalia*, *8*(1), 81-96.

Furtak, E.-M., Seidel, T., Iverson, H. and Briggs, D.C. (2012). Experimental and quasiexperimental studies of inquiry-based science teaching: a metaanalysis. *Review of Educational Research*, *82*(3), 300-329.

Jameau, A. (2021). *Un cadre didactique d'analyse de l'activité d'enseignement de la physique. Mise en relation d'éléments théoriques et méthodologiques en didactique de la physique et en didactique professionnelle*. [Note de synthèse pour l'Habilitation à diriger des recherches. Université de Bretagne Occidentale]. HAL. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03331240/

Jonnaert, P. (2002). Recherches collaboratives et socioconstructivisme. Dans P. Venturini, C. Amade-Escot et A. Terrisse (dirs.), *Études des pratiques effectives : l'approche des didactiques* (p. 175-196). Grenoble : La pensée sauvage.

Leclerc, C., Bourassa, B. et Filteau, O. (2010). Utilisation de la méthode des incidents critiques dans une perspective d'explicitation, d'analyse critique et de transformation des pratiques professionnelles. *Éducation et francophonie*, *38*(1), 11-32.

Marlot, C. (2009). Glissement de jeux d'apprentissage scientifiques et épistémologie pratique de professeurs au CP. *Aster*, *49*, 109-136.

Marlot, C. et Morge, L. (2016). *L'investigation scientifique et technologique : comprendre les difficultés de mise en œuvre pour mieux les réduire*. Presses Universitaires de Rennes.

Morge, L. (2016). Les difficultés des enseignants à gérer les phases de conclusion au cours d'une investigation. Dans C. Marlot et L. Morge (dirs.), *L'investigation scientifique et technologique : comprendre les difficultés de mise en œuvre pour mieux les réduire* (p. 134-149). Presses Universitaires de Rennes.

Ministère de l'Éducation Nationale. (2020, 30 juillet). Programmes d'enseignement de l'école primaire. BOEN, n°31.

Perron, S., Hasni, A., et Boilevin, J.-M. (2020). L'absence de savoir conceptuel lors de démarches d'investigation scientifique mises en œuvre en classe : une crainte devenue réalité ? *Recherches en éducation*, *42*, 199-219.

Portugais, J. (1999). L'intentionnalité et le cognitif. Dans F. Conne et G. Lemoyne (dirs.), *Le cognitif en didactique des mathématiques* (p. 71-102). Presses de l'Université de Montréal.

Roletto, E. (1998). La science et les connaissances scientifiques : Points de vue de futurs enseignants. *Aster*, *26*(1), 11-30.

Sarmant, J.-P. (1999). Rapport sur l'opération La main à la pâte, l'enseignement des sciences à l'école primaire. Rapport à monsieur le ministre de l'Éducation nationale. La main à la pâte. https://www.education.gouv.fr/rapport-d-etape-sur-l-operation-la-main-la-pate-et-l-enseignement-des-sciences-l-ecole-primaire-10334

Schubauer-Leoni, M. L. et Leutenegger, F. (2002). Expliquer et comprendre dans une approche clinique/expérimentale du didactique ordinaire. Dans F. Leutenegger et M. Saada-Robert (dirs.), *Expliquer et comprendre en sciences de l'éducation* (p. 227-251). De Boeck.

Searle, J. (1983). *Intentionality*. Cambridge University Press.

Sensevy, G., et Quilio, S. (2002). Les discours du professeur. Vers une pragmatique didactique. *Revue Française de Pédagogie*, *141*, 47-56.

Sensevy, G., et Vigot, N. (2016). Modélisation de l'action et contrefactuels. Un exemple exploratoire en didactique. *Tréma*, *45*, 83-91.

Vergnaud, G. (1994). Le rôle de l'enseignant à la lumière des concepts de schème et de champ conceptuel. Dans M. Artigue et R. Gras (Dirs.), *Vingt ans de didactique des mathématiques en France. Hommage à Guy Brousseau et à Gérard Vergnaud* (p. 177-191). La Pensée Sauvage.

Vion, R. (2000). *La communication verbale*. Hachette éducation.

Interactions langagières en sciences en contexte bilingue : questions, outils et méthodes de recherches

Mehdi Fatme, Zaid Abdelkarim, Boyer Catherine
Laboratoire CIREL, Université de Lille-France

Résumé

Cette revue de littérature explore les orientations de recherche sur la relation entre les interactions langagières et l'enseignement des sciences au cycle primaire (élèves de 6 à 12 ans). Elle vise à mettre en évidence la manière dont la question du bilinguisme est prise en compte et traitée dans les articles publiés dans des revues scientifiques entre janvier 2010 et décembre 2021. Parmi les 69 articles analysés, 27 abordent le sujet du bilinguisme et sont traités en tant que cas particulier. L'analyse révèle diverses perspectives conceptuelles et outils méthodologiques pour aborder une variété de questions de recherche qui peuvent être regroupées en quatre catégories : 1) les caractéristiques et les modèles de discours, 2) la multimodalité, 3) le « translanguaging » et 4) la relation entre langage quotidien et langage scientifique. L'analyse dévoile des pistes de recherche peu exploitées, aussi des propositions pour des recherches futures sont esquissées.

Interroger les interactions langagières en sciences

De nombreux travaux en didactique des sciences établissent le fait que la pensée scientifique s'édifie dans l'interaction lors de la construction (par les élèves) et de la transmission (par le

professeur) du contenu scientifique (Orange, 2007). Ces travaux soulignent notamment le rôle décisif des interactions langagières orales et écrites dans l'élaboration conceptuelle scientifique, sa progression et sa stabilisation. Selon cette perspective, si apprendre en sciences procède d'une transformation conceptuelle (Anderson, 2010), cela consiste également à « parler science » et à utiliser un langage spécifique pour lire et écrire, raisonner et résoudre des problèmes, structurer et orienter une action (Lemke, 1990). Autrement dit, une tâche essentielle de l'éducation scientifique est d'aider les élèves à construire les ressources linguistiques nécessaires pour participer au discours scientifique. Il s'agit de développer des systèmes de significations en utilisant un langage spécifique (mesures, instruments, symboles mathématiques, diagrammes, etc.), mais qui diffèrent d'une communauté sociale à l'autre (Lemke, 1990). L'engagement des élèves dans l'apprentissage consiste à construire le contenu scientifique visé à travers des situations qui produisent du langage, c'est-à-dire à travers les interactions faites de grammaire, de figures, de discours, et de types d'organisation de l'activité discursive (interaction, répétition, analogie, métaphore etc.) mais également de références culturelles auxquelles renvoie le langage (Bisault, 2010 ; Jaubert et Rebière, 2020 ; Lhoste, 2017 ; Zaid, 2012).

Le travail de thèse[53] d'où est issu ce texte concerne le contexte libanais où l'enseignement est bilingue : les sciences et mathématiques sont enseignées en français ou en anglais, les autres matières en arabe. L'enseignement des sciences se construit donc dans des processus langagiers (Gajo, 2007) et mobilise, chez les élèves, des fonds de connaissances conceptuels et linguistiques divers (Irish et Kang, 2018). Différentes approches sont mises en œuvre pour observer et analyser les différentes formes d'interactions en jeu. Il en ressort un consensus général sur le rôle déterminant des interactions dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences. Les travaux précédents permettent de comprendre comment les interactions langagières entre l'enseignant et les élèves, d'une part, et entre les élèves, d'autre part, contribuent à la construction des concepts scientifiques et constituent des moyens et des jalons du processus d'élaboration cognitive, en permettant le passage du

[53] Thèse de la première auteure intitulée : « contribution à l'étude didactique de l'enseignement et l'apprentissage des sciences dans les classes du cycle primaire dans un contexte bilingue au Liban ».

savoir quotidien exprimé dans un langage quotidien non scientifique, à un savoir scientifique exprimé dans un langage scientifique.

L'objectif de cette revue de littérature est de rendre compte de l'état de la recherche sur les interactions langagières en classes bilingues de sciences des points de vue conceptuel et méthodologique. Pour cela nous visons d'une part, à produire une synthèse qualitative sur les orientations des recherches antérieures qui ont porté sur la manière dont les élèves de l'école primaire (élèves de 6 à 12 ans) construisent le contenu scientifique lors des interactions langagières et d'autre part, à cette occasion de décrire la manière dont la question du bilinguisme est prise en compte et traitée. Dans un premier temps, nous reviendrons sur la question générale des interactions langagières en classe de sciences et particulièrement dans un contexte bilingue. Nous introduirons ensuite la revue systématique de littérature et présenterons les tendances des travaux antérieurs des points de vue des questions de recherche et des cadrages conceptuels et méthodologiques.

Explorer les recherches sur les interactions langagières en classe de sciences

Les études menées sur les interactions langagières en sciences sont foisonnantes et dynamiques. En témoigne la production de plusieurs revues de littérature publiées récemment dont certaines peuvent être citées à titre d'exemples comme l'étude de Msimanga et al. (2017) qui s'intéresse aux fonctions pédagogiques du langage dans les classes de sciences sud-africaines dans la période entre 1995 et 2015. La revue systématique de littérature d'Huerta et Garza (2019) est focalisée sur le rôle de l'écriture en sciences sur une période de 20 ans (1996-2016) ; celle de Bae et al. (2021) concerne le discours scientifique dans les classes urbaines de la maternelle à la 12ème année. Dans les publications francophones, la revue Aster a consacré deux numéros[54] successifs à ce thème et, dans cette même publication, la revue de littérature de Catel (2001) a fait le point sur les travaux de recherches en didactique effectués dans la période située entre 1990 et 2000 concernant la

[54] Les numéros 37 en 2003 et 38 en 2004.

production d'écrits par les élèves dans le cadre de l'enseignement scientifique. Toutefois, nous n'avons pas trouvé de revue systématique de littérature rendant compte des recherches sur les interactions langagières dans les classes de sciences à l'école primaire et particulièrement en contexte bilingue[55]. Cette contribution vise à combler ce manque en esquissant de nouvelles voies pour la recherche. Il s'agit de rendre compte des recherches antérieures en se centrant sur le traitement des statuts, rôles et effets des interactions langagières, discursives et gestuelles, verbales et non verbales, entre les intervenants en classe de sciences à l'école primaire et également en contexte bilingue. Cette revue systématique de littérature est structurée par les questions suivantes :

1) Quelles questions ou objets de recherche ont été analysés dans les articles identifiés ?

2) Quels cadres conceptuels ont été mobilisés pour traiter ces questions et objets de recherche ?

3) Quelles méthodes de recherche ont été adoptées pour investiguer les interactions langagières en sciences ?

Et puisque cette revue de littérature est initialement effectuée dans le cadre d'un travail de thèse mené dans un contexte bilingue, les études effectuées dans des contextes bilingues semblant constituer une piste de recherche importante, une quatrième question se focalise sur les articles en relation avec le bilinguisme :

4) Comment la construction du contenu scientifique en contexte bilingue est prise en compte et traitée dans les recherches effectuées en contexte bilingue ?

Constituer le corpus des revues et d'articles analysés

16 revues (cf. annexe A) sont retenues parmi les 28 revues spécialisées en éducation des sciences indexées dans la base de données SCOPUS et sur la liste HCERES (liste de Juillet 2020). Les critères qui ont présidé au choix de ces revues sont la présence d'un comité de

[55] En utilisant les mêmes critères de recherche que ceux qui sont précisés dans la partie méthodologie.

lecture et d'une procédure de « peer review », la focalisation sur les questions d'enseignement et d'apprentissage des sciences, et un pourcentage de citation de 60% et plus.[56]

Le dépouillement des bases de données et revues s'est appuyé sur les mots clés « science education », « language » et « primary class » et leurs dérivés (science teaching, primary school, etc.) dans les titres et les résumés. Cette recherche préliminaire a donné 3721 articles. Des critères d'inclusion et d'exclusion sont ensuite mobilisés pour choisir les articles qui doivent : 1) être publiés dans l'une des revues sélectionnées, dans la période entre 01 janvier 2010 et 31 décembre 2021; 2) être spécifiés comme article de recherche empirique (présentant un travail de terrain); 3) traiter explicitement la question de la langue en sciences ou des interactions langagières en sciences au cycle primaire; 4) rendre compte d'une recherche effectuée dans un contexte national ou international, publiée en français ou en anglais quelle que soit la méthode utilisée (qualitative, quantitative, ou mixte). La figure n°1 résume la procédure de sélection des articles

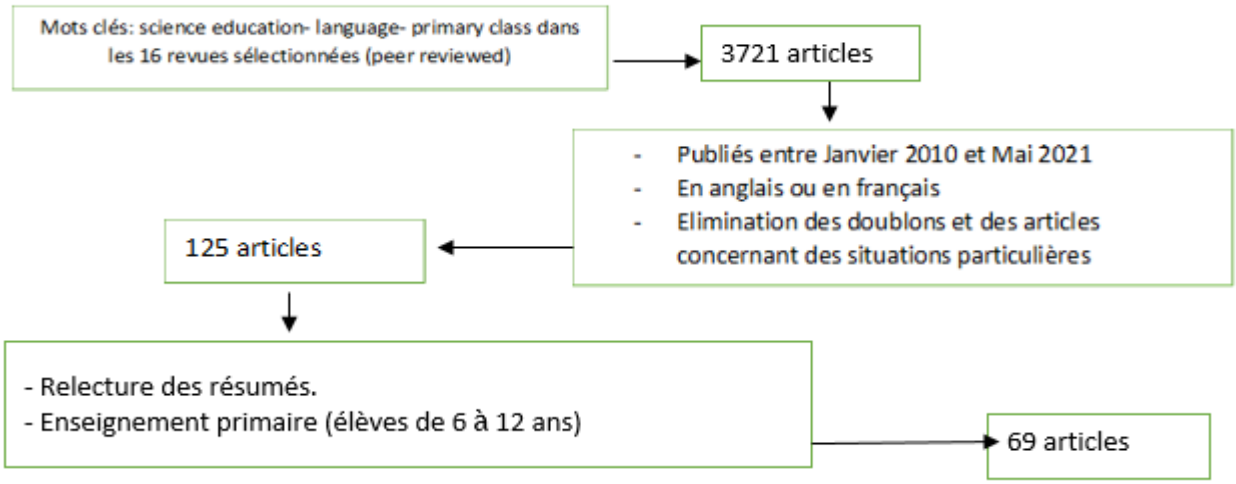


Figure n°1 : procédure de sélection des articles.

[56] À l'exception de 3 revues dont le pourcentage de citation est plus faible mais qui contiennent des articles pertinents, et qui permettent d'observer le sujet selon une perspective différente.

Une grille de lecture est utilisée pour l'analyse approfondie des 69 articles validés. Elle comprend des questions à choix multiples et des questions ouvertes organisées en cinq sections : 1) les caractéristiques de l'écrit (référence, auteur(s), lieu de la recherche) ; 2) la problématique et le cadre conceptuel ; 3) la méthode ; 4) les informations sur le volet empirique de la recherche (échantillon, procédure de recueil et d'analyse des données, principaux résultats) ; 5) la synthèse (résumé, intérêt de l'article au regard de la problématique de la thèse). Ensuite, les informations collectées dans les grilles sont regroupées dans un tableau et soumises à une lecture à plusieurs reprises pour dégager des catégories thématiques et répondre aux questions qui orientent cette revue de littérature. Parmi les 69 articles, la présence du mot clé « bilingue », ou son équivalent (dans le titre, le résumé ou au moins une des questions de recherche) permet d'identifier 27 articles centrés sur le bilinguisme.

Identifier des tendances dans les recherches antérieures

Pour répondre aux questions qui orientent cette revue de littérature, nous avons travaillé selon deux axes : le premier concerne les 69 articles autour des recherches effectuées dans des contextes bilingues ou non ; le deuxième focalise sur les 27 articles prenant en compte le caractère bilingue du contexte de recherche. Ce deuxième axe peut être considéré comme cas particulier du premier.

Objets et questions de recherche sur les interactions langagières en sciences

Pour la première question de notre revue autour des questions de recherche traitées, l'analyse des 69 articles en révèle leur variété et conduit à les regrouper en quatre catégories relatives 1) aux caractéristiques et modèles de discours, 2) à la multimodalité, 3) au « translanguaging » et 4) à la relation entre langage quotidien et langage scientifique. En plus de ces quatre catégories, nous avons détaillé les questions de recherches effectuées dans des contextes bilingues.

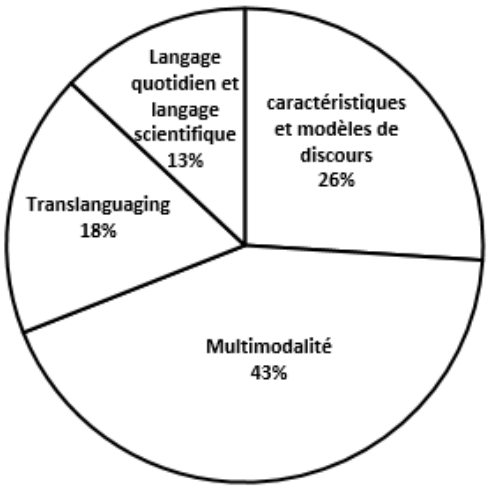


Figure n° 2 : répartition des questions de recherche dans le corpus analysé

Les caractéristiques et les modèles de discours

Cette première catégorie (18 articles sur 69) est constituée de recherches qui explorent les différents modèles des mouvements discursifs en classe de sciences au cycle primaire. Les approches communicationnelles dominantes concernent les enseignants et leur façon de communiquer le contenu scientifique avec leurs élèves. Ces recherches caractérisent les pratiques des enseignants et expliquent comment ils procèdent pour diffuser les informations scientifiques et construire les normes du langage scientifique. Par exemple Seah et Yore (2017) cherchent comment les enseignants communiquent le contenu scientifique, comment ils exploitent des ressources puisées dans la vie quotidienne des élèves, comment ils dévoilent les exigences linguistiques nécessaires à la discussion et à la construction des concepts scientifiques. Cette catégorie collecte aussi des recherches qui portent sur les interactions entre élèves et avec leurs enseignants en produisant des discours spécifiques à des micro-communautés de pratique scientifique, et considèrent les élèves en tant qu'agents actifs dans la création de sens et la résolution des problèmes (Kane, 2015 ; Kim, 2021). Les articles en question se focalisent sur les caractéristiques et les modèles de discours des élèves et interprètent comment l'appropriation et le redéploiement de ces discours contribuent à leur apprentissage en sciences et au développement de leur identité en tant qu'élèves en classe mais également en tant que scientifiques émergents (Kamberelis et Wehunt, 2012).

La multimodalité

La multimodalité est un objet de recherche qui constitue dans les articles analysés l'orientation dominante (30 articles sur 69). Elle émerge nettement après l'année 2015 et met l'accent sur le fait que le discours scientifique peut avoir lieu selon plusieurs modes (cf.

annexe B). Des recherches concernent les formes de communication en jeu, telles que les communications orales comme le dialogue, la lecture à voix haute et l'argumentation dialogique, ou écrites comme les comptes rendus sur les cahiers de sciences, sans négliger l'importance des communications gestuelles. D'autres recherches portent sur les ressources d'apprentissage utilisées tels que les dispositifs et les supports d'apprentissage (artefacts physiques, dessins, écritures, etc.), ou d'autres ressources sémiotiques multiples. Ces modes sont étudiés en tant que supports pour l'enseignement ou comme moyens d'évaluation de l'acquisition des contenus. Ils sont aussi étudiés en ce qu'ils visent à établir des formes d'équité (notamment langagière) en classe en respectant les différences individuelles (Ünsal et al., 2018).

Le « translanguaging »

La troisième catégorie d'articles (12 articles sur 69) concerne les recherches étudiant les conditions pour susciter et soutenir le « translanguaging » et la manière dont les élèves bilingues mobilisent leurs ressources linguistiques propres comme moyen pour participer à l'apprentissage (Stevenson, 2013). Le « translanguaging » constitue une lentille à travers laquelle on peut comprendre comment les élèves bilingues tirent parti de leur répertoire sémiotique pour un engagement disciplinaire productif (Suárez, 2020).

Bien qu'hétérogènes, ces études convergent lorsqu'il s'agit de souligner l'importance de comprendre et de valoriser les connaissances linguistiques des élèves bilingues comme ressources qui, potentiellement, peuvent être capitalisées dans l'apprentissage des sciences afin d'optimiser leur participation et de faciliter leur compréhension (Stevenson, 2013). Toutefois, ces recherches alertent sur le risque de simplification excessive du « translanguaging » en utilisant une langue totalement libre et aussi sur la nécessité d'outiller les élèves avec les concepts et les matériaux linguistiques nécessaires pour qu'ils puissent réussir aux examens officiels et internationaux (Poza, 2018).

Le langage quotidien et le langage scientifique

La dernière catégorie réunit des articles (9 articles sur 69) qui interrogent le lien entre les activités scolaires en sciences et les expériences de la vie quotidienne, et la façon selon laquelle les élèves engagés dans des discussions socio-scientifiques, partent de leurs expériences quotidiennes pour arriver à acquérir une culture scientifique (Na et Song, 2014). Les recherches de cette catégorie recouvrent aussi l'étude des pratiques des enseignants pour mobiliser le fonds de connaissances des élèves (Irish et Kang, 2018). D'autres études

s'intéressent aux difficultés conceptuelles et linguistiques que rencontrent les élèves lorsqu'ils transforment leurs idées initiales en explications scientifiques (Seah, 2015).

Questions de recherche dans un contexte bilingue

Les questions et les cadrages des recherches effectuées dans des contextes bilingues figurent comme domaine d'étude pertinent par rapport à l'étude des interactions langagières en classe de sciences. Pour pointer vers ce domaine, nous avons étudié les objets de recherche concernant l'enseignement/apprentissage des sciences au cycle primaire dans des contextes bilingues. Parmi les 69 articles collectés et analysés, 27 concernent le bilinguisme, la majorité de ces recherches est effectuée après l'année 2015. Effectuées dans des pays différents, ces études examinent la relation entre la langue et la construction de contenus en sciences. Elles discutent la manière dont les élèves bilingues mobilisent leurs ressources linguistiques en classe et en laboratoire de sciences (Stevenson, 2013) ou dans des programmes extrascolaires d'apprentissage (Suárez, 2020), et en analysent les effets sur la pratique des enseignants (Poza, 2018). La relation entre la langue et la création de sens en sciences (Ünsal et al., 2018) est aussi discutée sous le prisme de translangage, plus particulièrement, les caractéristiques et les effets du translangage sur la capacité des élèves à s'approprier des façons de communiquer, de parler, de penser, et d'agir (Karlsson et al., 2019, 2020), et donc de réussir en sciences lorsque cette discipline est enseignée en langue différente de la langue maternelle (Laere et al., 2014). D'autre part, un des défis majeurs rencontrés dans les classes de sciences contenant des élèves bilingues est leur engagement en classe. Cela se manifeste dans des études qui s'intéressent à leur participation dans de petits groupes (Gamez et Parker, 2018 ; Wilmes et Siry, 2018) ou à leur engagement en classe entière (Gómez Fernández et Siry, 2018 ; Lan et Oliveira, 2019 ; Wilmes et Siry, 2019).

Cadres conceptuels pour penser les interactions langagières en classe de sciences

Un aperçu global des principaux cadres conceptuels mobilisés pour les interactions langagières peut être donné en identifiant les questions et objets de recherche. Il en ressort deux catégories. La première catégorie repose sur les analyses de discours en classe de sciences souvent fondées sur les notions vygotskiennes qui s'intéressent à la relation entre langage et pensée (Vygotsky, 1980). Selon cette perspective, les connaissances apparaissent d'abord dans les interactions sociales puis sont incorporées dans la pensée individuelle des

élèves. La seconde catégorie adopte une approche évaluative et s'intéresse aux résultats et aux performances des élèves plutôt qu'aux processus et stratégies adoptés pour la construction des contenus scientifiques. Ces deux catégories seront explicitées, et puis les cadres conceptuels qui prennent en compte le bilinguisme seront résumés.

Des cadres variés pour analyser le discours en classe de sciences

Pour analyser le discours en classe de sciences, des études adoptent une perspective socioculturelle, par exemple, Tytler et Aranda (2015) analysent les moyens selon lesquels les enseignants orchestrent les interactions pour construire un sens partagé. Quant à Seah et Yore (2017), ils combinent les perspectives théoriques socioconstructivistes et sociosémiotiques impliquées dans l'utilisation et la transition entre langage quotidien, langage scolaire, et langage scientifique. L'enseignement dialogique semble aussi un concept récurrent pour interroger l'amélioration de la qualité de l'enseignement et de l'apprentissage à travers le dialogue permanent enseignant- élèves (Kane, 2015 ; Zhai et Dillon, 2014).

La recherche sur le discours en classe mobilise une gamme de perspectives conceptuelles et d'outils analytiques pour comprendre comment les activités en classe structurent et sont structurées par le discours. Par exemple le cadre d'analyse de discours de Mortimer et Scott permet d'examiner les approches communicatives (autoritaire, dialogique, interactive, non interactive) que l'enseignant et les élèves utilisent en classe (France, 2021 ; Kim, 2021 ; Watters et Diezmann, 2016). Celui de Potter et Wetherell est mobilisé pour visionner les répertoires interprétatifs utilisés par les élèves pour négocier un enjeu socio-scientifique (Byrne et al., 2014). Le cadre analytique du discours basé sur le questionnement mobilisé par Chin est utilisé pour classifier les questions et les commentaires des élèves et de l'enseignant en fonction de leur orientation dialogique (Van Booven, 2015). L'analyse du discours peut aussi avoir lieu selon une double vision, en combinant la vision didactique à la vision linguistique (Åhman et Jeppsson, 2020 ; Lan et Oliveira, 2019 ; Seah, 2015 ; Bisault, 2010).

La plupart des articles qui traitent les questions de la multimodalité mettent en avant la perspective sociosémiotique, en vue d'analyser des interactions multimodales (MIA : Multimodal Interaction Analysis) (Wilmes et Siry, 2019) et visent à décentraliser le rôle du langage et à se focaliser sur d'autres types de communication. Des ressources sémiotiques multimodales, créent un certain espace sémiotique social (Huerta et al., 2014 ; Wilmes et

Siry, 2018, 2021) et coopèrent avec la maitrise du contenu pour assurer le développement du langage des élèves bilingues.

Selon cette perspective, l'enseignement des sciences nécessite des connaissances pédagogiques relatives au contenu enseigné (PCK : Pedagogical Content Knowledge) (Oh et Kim, 2013 ; Seah et Kennedy, 2020), la maitrise des modes de représentation multimodales (personnifications, analogies, questions…), et des modes sémiotiques variés pour représenter la connaissance scientifique : verbale, picturale, matérielle, mathématique, et actionnelle (Oh et Kim, 2013), en plus des exigences linguistiques qui doivent être adaptées aux connaissances et aux besoins des élèves (KS : Knowledge of Students) pour les aider à apprendre le langage scientifique (Seah et Kennedy, 2020)

Une approche évaluative : focalisation sur les résultats et les performances des élèves

La seconde tendance de recherche adopte un point de vue plutôt techniciste selon une approche évaluative. Ainsi l'étude de Njoroje (2017) s'intéresse à la comparaison entre la performance des élèves lorsqu'ils apprennent les mathématiques et les sciences en anglais et leurs résultats lorsqu'ils utilisent la langue maternelle. Pareillement, Laere et al. (2014) questionnent l'effet de la littéracie en langue d'enseignement sur la performance des élèves en sciences. La conclusion générale de ces études est que la performance des élèves est reliée à plusieurs facteurs, parmi lesquels, leur niveau de maitrise de la langue utilisée dans l'enseignement, les caractéristiques socioéconomiques et le niveau des écoles.

Cadrages conceptuels prenant en compte les contextes bilingues

De manière globale, les interactions langagières en contexte bilingue sont traitées dans le corpus analysé à travers un prisme théorique socioculturel considérant l'enseignement et l'apprentissage des sciences comme contextualisés, co-construits et émergents par l'interaction (Wilmes et Siry, 2019).

Des articles mobilisent le concept de translangage afin de comprendre comment les élèves bilingues tirent parti de leur répertoire sémiotique pour un engagement disciplinaire productif (Engle, 2012 ; Pierson et al., 2021 ; Poza, 2018 ; Ryu, 2019 ; Suárez, 2020). D'autres concepts, comme troisième espace, espace hybride, hétéroglossie, ou diglossie (Amin et Badreddine, 2020), sont utilisés pour comprendre comment les élèves intègrent et relient les discours de leur vie quotidienne avec le nouveau discours (Kamberelis et Wehunt, 2012 ; Karlsson et al., 2019, 2020).

D'autres études s'intéressent aux ressources conceptuelles qui constituent, à côté des ressources linguistiques, le fonds de connaissances qui peut être exploité dans l'enseignement de sciences. Le corpus analysé englobe aussi des études effectuées dans des contextes bilingues selon une approche psycholinguistique et qui s'intéressent au développement de l'identité des élèves immigrés ou nouveaux arrivants (Gamez et Parker, 2018 ; Gómez Fernández et Siry, 2018 ; Wilmes et Siry, 2018).

Dispositifs méthodologiques mobilisés

Diverses méthodes sont adoptées dans les 69 articles. Il semble que la nature du sujet des interactions langagières favorise l'adoption d'une méthodologie qualitative (N=52), par rapport à une méthodologie mixte (N=16), ou quantitative (N=1). La méthode de collecte des données prédominante est l'enregistrement vidéo et la transcription des séances enregistrées pour les analyser (68% des études), suivie de l'enregistrement audio (41%), puis l'entrevue (35%) et l'observation en classe (32%). Toutefois, la plupart des études combinent plusieurs méthodes de collecte des données pour la « triangulation » des résultats.

Conclusion et discussion

Notre objectif est de rendre compte de l'état de la recherche sur les interactions langagières en sciences au cycle primaire (les élèves de 6 à 12 ans) en termes de questions et d'objectifs de recherche traités, d'outils théoriques utilisés et de méthodologies adoptées, et prenant en compte le bilinguisme dans les articles collectés. Les résultats montrent que les questions des recherches sont essentiellement focalisées sur les caractéristiques et les modèles de discours, la multimodalité, le « translanguaging », et le langage quotidien vs le langage scientifique. Les cadres conceptuels mobilisés sont divers, mais la plupart des études sont déclarées être situées dans le cadre théorique du socioconstructivisme, ce qui est attendu puisque les interactions discursives ne peuvent avoir lieu que dans un contexte social. Plus de la moitié des articles adoptent une méthodologie qualitative. Le bilinguisme figure dans 27 articles sur 69 collectés et analysés. La majorité des études effectuées en contexte bilingue est postérieure à 2015, ce qui peut être dû à une dynamique migratoire favorisée par les guerres et les conditions économiques dans de nombreux pays pendant cette période, et qui se reflète dans le grand nombre des élèves bilingues migrants ou issus des minorités. Toutefois, la plupart des articles concerne le bilinguisme dans le cas des élèves bilingues souvent nouveaux arrivants, immigrants ou issus de minorités et où l'enseignement des

sciences est dispensé en langue officielle du pays où ils vivent, langue qui diffère de leur langue maternelle. Autrement dit, rares sont les études effectuées dans le cas où les élèves du cycle primaire et l'enseignant partagent la même langue maternelle qui est la langue officielle du pays, mais où l'enseignement des sciences s'effectue en langue étrangère, comme cela se passe au Liban. Plus rare encore est l'étude de l'exploitation de fonds de connaissances linguistiques et conceptuelles dans un tel contexte dans les classes du cycle primaire. C'est en ce sens qu'il nous semble pertinent d'explorer[57] le fonctionnement des ressources propres aux élèves dans un contexte bilingue du point de vue de la didactique des sciences. Par ailleurs, cette revue de littérature plaide pour des recherches futures qui étudient la conceptualisation en sciences dans un contexte bilingue et la manière dont les élèves bilingues construisent le contenu scientifique dans l'interaction langagière en classe, surtout lorsque les acteurs partagent la même langue maternelle qui diffère de la langue d'enseignement, comme le cas du Liban. Des questions en ressortent : comment se construisent les connaissances scientifiques chez les élèves débutant en sciences dans un contexte bilingue ? Quel rôle jouent les interactions avec l'enseignant de sciences au cycle primaire dans un contexte bilingue ? Quels fonds de connaissances, linguistiques et conceptuelles, sont mobilisés dans ce processus ?

Limites

Nous sommes conscients que cette étude présente des limites puisque d'autres indicateurs auraient pu être sources de recherches tel qu'utiliser d'autres mots clés ou augmenter l'intervalle de l'âge des élèves. Une autre limite est que seulement une partie des revues à comité de lecture a été retenue. Les travaux futurs pourraient inclure des conférences, des thèses, des chapitres des livres… et utiliser des bases de données autre que SCOPUS, afin d'avoir une vision plus exhaustive sur ce sujet.

[57] Dans le cadre du travail de thèse d'où est issue cette contribution.

Bibliographie

Articles de la revue

Åhman, N. and Jeppsson, F. (2020). Teachers' and Pupils' Scientific Dialogue in Learning about Invisible Thermal Phenomena. *International Journal of Science Education,* 42, 3116-3133, DOI: 10.1080/09500693.2020.1852334

Amin, T. et Badreddine, D. (2020). Teaching Science in Arabic: Diglossia and Discourse Patterns in the Elementary Classroom. *International Journal of Science Education* ,42(14), 2290–2330. DOI: 10.1080/09500693.2019.1629039

Bisault, J. (2010). Des moments de sciences à l'école primaire : quelles références pour quels enjeux ? *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 2, 53–78. DOI:10.4000/rdst.284

Byrne, J., Ideland, M., Malmberg, C. et Grace, M. (2014). Climate Change and Everyday Life: Repertoires Children Use to Negotiate a Socio-Scientific Issue. *International Journal of Science Education,* 36(9), 1491–1509. DOI:10.1080/09500693.2014.891159

Catel, L. (2001). Écrire pour apprendre ? Ecrire pour comprendre ? Etat de la question. *Aster*, 33, 17-47. DOI:10.4267/2042/8775

France, A. (2021). Teachers Using Dialogue to Support Science Learning in the Primary Classroom. *Research in Science Education,* 51, 845–859. DOI:10.1007/s11165-019-09863-3

Gamez, R. et Parker, C.A. (2018). Becoming Science Learners: A Study of Newcomers' Identity Work in Elementary School Science. *Science Education*, 102(2), 377–413. DOI:10.1002/SCE.21323

Gómez Fernández, R. et Siry, C. (2018). Opening up' a Science Task: An Exploration of Shifting Embodied Participation of a Multilingual Primary Student. *International Journal of Science Education,* 40(7), 771–795. DOI:10.1080/09500693.2018.1447709

Huerta, M. et Garza, T. (2019). Writing in Science: Why, How, and for Whom? A Systematic Literature Review of 20 Years of Intervention Research (1996–2016). *Educational Psychology Review,* 31(3), 533–570. DOI:10.1007/s10648-019-09477-1

Huerta, M., Rafael, L. A., Tong, F. et Irby, B.J. (2014). Developing and Validating a Science Notebook Rubric for Fifth-Grade Non-Mainstream Students. *International Journal of Science Education,* 36(11), 1849–1870. DOI:10.1080/09500693.2013.879623

Irish, T. et Kang, N.H. (2018). Connecting Classroom Science with Everyday Life: Teachers' Attempts and Students' Insights. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(8), 1227–1245. DOI 10.1007/s10763-017-9836-0

Jaubert, M. et Rebière, M. (2020). Quels outils pour rendre compte du passage d'une langue quotidienne à une langue disciplinaire scolaire ? *Swiss Journal of Educational Research,* 42(3), 569–81. DOI: 10.25656/01:21525

Kamberelis, G. et Wehunt, M.D. (2012). Hybrid Discourse Practice and Science Learning. *Cultural Studies of Science Education,* 7(3), 505–534. https://doi.org/10.1007/s11422-012-9395-1

Kane, J. M. (2015). The Structure-Agency Dialectic in Contested Science Spaces: 'Do Earthworms Eat Apples?' *Journal of Research in Science Teaching,* 52(4), 461–473. DOI:10.1002/tea.21206

Karlsson, A., Larsson, P.N. et Jakobsson, A. (2019). Multilingual Students' Use of Translanguaging in Science Classrooms. *International Journal of Science Education,* 41(15), 2049–2069. DOI:10.1080/09500693.2018.1477261

Karlsson, A., Larsson, P.N. et Jakobsson, A. (2020). The Continuity of Learning in a Translanguaging Science Classroom. *Cultural Studies of Science Education,* 15(1), 1–25. DOI:10.1007/s11422-019-09933-y

Kim, M. (2021). Student Agency and Teacher Authority in Inquiry-Based Classrooms: Cases of Elementary Teachers' Classroom Talk. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 20(8), 1927-1948. DOI:10.1007/s10763-021-10233-7

Laere, V.E., Aesaert, K. et Braak, V.J. (2014). The Role of Students' Home Language in Science Achievement: A Multilevel Approach. *International Journal of Science Education*, 36(16), 2772–2794. https://doi.org/10.1080/09500693.2014.936327

Lan, S.W. et Oliveira, L.C. (2019). English Language Learners' Participation in the Discourse of a Multilingual Science Classroom. *International Journal of Science Education*, 41(9), 1-25. DOI:10.1080/09500693.2019.1607618.

Na, J. et Song, J. (2014). Why Everyday Experience? Interpreting Primary Students' Science Discourse from the Perspective of John Dewey. *Science et Education*, 23(5), 1031–1049. DOI:10.1007/s11191-013-9637-y

Njoroge, M.C. (2017). The Efficacy of Using Mother Language in the Teaching of Mathematics and Science in Primary Schools: Evidence from Grade One Classrooms in Kenya. *Journal of Applied Linguistics and Language Research*, 4(8), 133–150.

Oh, P.S. et Kim, K.S. (2013). Pedagogical Transformations of Science Content Knowledge in Korean Elementary Classrooms. *International Journal of Science Education,* 35(9), 1590–1624. DOI:10.1080/09500693.2012.719246

Pierson, A.E., Clark, D.B et Brady, C.E. (2021). Scientific Modeling and Translanguaging: A Multilingual and Multimodal Approach to Support Science Learning and Engagement. *Science Education,* 105(4), 776–813. https://doi.org/10.1002/sce.21622

Poza, L.E. (2018). The Language of Ciencia: Translanguaging and Learning in a Bilingual Science Classroom. *International Journal of Bilingual Education and Bilingualism,* 21(1), 1–19. DOI:10.1080/13670050.2015.1125849

Ryu, M. (2019). Mixing Languages for Science Learning and Participation: An Examination of Korean-English Bilingual Learners in an after-School Science-Learning Programme. *International Journal of Science Education,* 41(6), 1-21. DOI:10.1080/09500693.2019.1605229

Seah, L.H. (2015). Understanding the Conceptual and Language Challenges Encountered by Grade 4 Students When Writing Scientific Explanations. *Research in Science Education,* 46(3), 413–437. DOI:10.1007/s11165-015-9464-z

Seah, L.H. et Yore, L.D. (2017). The Roles of Teachers' Science Talk in Revealing Language Demands within Diverse Elementary School Classrooms: A Study of Teaching Heat and Temperature in Singapore. *International Journal of Science Education,* 39(2), 1-23. DOI:10.1080/09500693.2016.1270477

Seah, L.H. et Kennedy C. (2020). A Case Study of a Science Teacher's Knowledge of Students in Relation to Addressing the Language Demands of Science." *International Journal of Science and Mathematics Education,* 19(10), 267–187. DOI:10.1007/s10763-019-10049-6

Stevenson A.R. (2013). How Fifth Grade Latino/a Bilingual Students Use Their Linguistic Resources in the Classroom and Laboratory during Science Instruction. *Cultural Studies of Science Education,* 8(4), 973-989. DOI:10.1007/s11422-013-9522-7

Suárez, E. (2020). 'Estoy Explorando Science': Emergent Bilingual Students Problematizing Electrical Phenomena through Translanguaging. *Science Education,* 104(5), 791–826. DOI:10.1002/sce.21588

Tytler, R. et Aranda, G. (2015). Expert Teachers' Discursive Moves in Science Classroom Interactive Talk. *International Journal of Science and Mathematics Education,* 13(2), 425–446. DOI:10.1007/s10763-015-9617-6

Ünsal, Z., Jakobson, B., Molander, B.O. et Wickman, P.O. (2018). Language Use in a Multilingual Class: A Study of the Relation Between Bilingual Students' Languages and Their Meaning-Making in Science. *Research in Science Education,* 48(3), 1027–1048. DOI:10.1007/s11165-016-9597-8

Van Booven, C.D. (2015). Revisiting the Authoritative–Dialogic Tension in Inquiry-Based Elementary Science Teacher Questioning. *International Journal of Science Education,* 37(8), 1182–1201. DOI: 10.1080/09500693.2015.1023868

Watters, J.J. et Diezmann, C.M. (2016). Engaging Elementary Students in Learning Science: An Analysis of Classroom Dialogue. *Instructional Science*, 44(1), 25–44. DOI 10.1007/s11251-015-9364-7

Wilmes S. et Siry C. (2021). Multimodal Interaction Analysis: A Powerful Tool for Examining Plurilingual Students' Engagement in Science Practices. *Research in Science Education*, 51(5), 1-21. DOI:10.1007/s11165-020-09977-z

Wilmes S. et Siry C. (2018). Interaction Rituals and Inquiry-Based Science Instruction: Analysis of Student Participation in Small-Group Investigations in a Multilingual Classroom. *Science Education*, 102(5), 1107–1128. DOI : 10.1002/sce.21462

Wilmes S. et Siry C. (2019). Science Notebooks as Interactional Spaces in a Multilingual Classroom: Not Just Ideas on Paper. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(4), 1–29. DOI:10.1002/tea.21615

Zhai, J. et Dillon, J. (2014). Communicating Science to Students: Investigating Professional Botanic Garden Educators' Talk during Guided School Visits. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(4), 407–429. DOI:10.1002/tea.21143

Zaid, A. (2012). Étude de l'interaction enseignant - élèves en physique au lycée. Enseigner comme agir sur les performances didactiques des élèves. *Éducation et didactique*, 6(3), 125–146. DOI:10.4000/educationdidactique.1627.

Autres références

Anderson, C.W. (2010). "Perspectives on Science Learning", In Sandra K. Abell, Norman G. Lederman (ed.). *Handbook of Research On Science Education,* New York, Routledge, p. 3-30.

Bae, C. L., Mills, D.C., Zhang, F., Sealy, M., Cabrera, L. et Sea, M. (2021). A Systematic Review of Science Discourse in K–12 Urban Classrooms in the United States: Accounting for Individual, Collective, and Contextual Factors. *Review of Educational Research*. DOI:10.3102/00346543211042415

Bakhtin, M. M. (1981). *The dialogic imagination* (C. Emerson et M. Holquist, Trans.). Austin, TX: Uni versity of Texas Press.

Engle, R. A. (2012). The productive disciplinary engagement framework: Origins, key concepts, and developments. In D. Y. Dai (Ed.), *Design research on learning and thinking in educational settings* (pp. 161–200). Routledge.

Gajo, L. (2007). Enseignement d'une DNL en langue étrangère : de la clarification à la conceptualisation. *Tréma*, 28, 37–48. https://doi.org/10.4000/trema.448

Lemke, J.L. (1990). *Talking Science: Language, Learning, and Values*. Ablex Publishing Corporation.

Lhoste, Y. (2017). *Épistémologie et didactique des SVT*. Presses universitaires de Bordeaux.

Msimanga, A., Denley, P. et Gumede, N. (2017). The Pedagogical Role of Language in Science Teaching and Learning in South Africa: A Review of Research 1990-2015.

African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education 21, 245–255. DOI:10.1080/18117295.2017.1367874

Orange, C. (2007). Apprentissages scientifiques : ce qui se construit et ce qui se transmet. *Recherches en éducation*, 4. DOI: 10.4000/ree.3938

Vygotsky, L. S. (1980). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.

Annexes

Annexe A : source des revues

#	**Revue (SCOPUS ou HCERES)**	#	**Revue (SCOPUS ou HCERES)**
1	Journal of research in science teaching	9	Journal of Baltic Science Education
2	Science Education	10	Cultural Studies of Science Education
3	International Journal of Bilingual Education and Bilingualism	11	Education et Didactique
4	International Journal of Science and Mathematics Education	12	Recherches en didactique des sciences et des technologies (RDST)
5	Instructional Science	13	Carrefours de l'éducation
6	Research in Science Education	14	Revue Suisse des Sciences de l'éducation
7	International Journal of Science Education	15	Journal of applied linguistics and language research
8	Science & Education	16	Contextes et didactiques

Annexe B : Multimodalité

Formes de communication	Communications orales	Dialogue (France, 2021)
		Lecture (Glass et Oliveira, 2013 ; Rojas Rojas et al., 2019)
		Argumentation dialogique (Hand et al., 2016 ; Kim et Roth, 2018)
		Raisonnement analogique (Hagland et al., 2012)
		Poser des questions (Benedict-Chambers et al., 2017 ; Hus et Abersbreve, 2011 ; Van Booven, 2015)
	Communications écrites	Cahiers de sciences (Huerta et al., 2014 ; Wilmes et Siry, 2019)
	Communications gestuelles	Suárez, 2020 ; Ünsal et al., 2018(b) ; Varelas et al., 2021

Ressources d'apprentissage	Utilisation des supports pour l'apprentissage	Artefacts physiques (Ünsal et al. ; 2018)
		Caméra infrarouge (Åhman et Jeppsson, 2020)
		Dessins et écriture (Park et al., 2021 ; Wilson et Bradbury, 2016, 2021; Yeo et al., 2021)
	Ressources sémiotiques multiples (Fazio et Gallagher, 2019 ; Martinez-Alvarez, 2019 ; Oh et Kim, 2013 ; Tang et al., 2021 ; Wilmes et Siry, 2021 ; Zhang, 2016)	

Annexe C : articles cités dans l'annexe B, mais qui ne figurent pas dans le texte en raison des contraintes éditoriales

Benedict-Chambers, A., Kademian, S.M., Davis E.A., et Palincsar, A.S. (2017). Guiding Students towards Sensemaking: Teacher Questions Focused on Integrating Scientific Practices with Science Content. *International Journal of Science Education,* 39(15), 2017), 1977–2001. https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1366674.

Fazio, X., et Gallagher, T.L. (2019). Science and Language Integration in Elementary Classrooms: Instructional Enactments and Student Learning Outcomes. *Research in Science Education,* 49(4), 959–76. https://doi.org/10.1007/s11165-019-9850-z.

Glass, R., et Oliveira, A.W. (2014). Science Language Accommodation in Elementary School Read-Alouds. *International Journal of Science Education,* 36(4), 577–609. https://doi.org/10.1080/09500693.2013.802057.

Haglund, J., Jeppsson, F., et Andersson, J. (2012). Young Children's Analogical Reasoning in Science Domains. *Science Education,* 96(4), 725–56. https://doi.org/10.1002/sce.21009.

Hand, B., Lori, A., Meier, N., Gunel, M. and Akkus, R. (2016). Aligning Teaching to Learning: A 3-Year Study Examining the Embedding of Language and Argumentation into Elementary Science Classrooms. *International Journal of Science and Mathematics Education,* 14(5), 847–63. https://doi.org/10.1007/s10763-015-9622-9.

Hus, V., et Aberšbreveek, M.K. (2011). Questioning as a Mediation Tool for Cognitive Development in Early Science Teaching. *Journal of Baltic Science Education,* 10(1),6–16.

Kim, M., et Roth, W.M. (2018). Dialogical Argumentation in Elementary Science Classrooms. *Cultural Studies of Science Education,* 13(4), 1061–85. https://doi.org/10.1007/s11422-017-9846-9.

Martínez-Álvarez, P. (2019). What Counts as Science? Expansive Learning Actions for Teaching and Learning Science with Bilingual Children. *Cultural Studies of Science Education,* 14(4), 799–837. https://doi.org/10.1007/s11422-019-09909-y.

Park, J., Tang, K.S., et Chang, J. (2021). Plan-Draw-Evaluate (PDE) Pattern in Students' Collaborative Drawing: Interaction between Visual and Verbal Modes of Representation. *Science Education,* 105(5), 1013–45. https://doi.org/10.1002/sce.21668.

Rojas Rojas, S.P., Meneses, A., et Miguel, E. (2019). Teachers' Scaffolding Science Reading Comprehension in Low-Income Schools: How to Improve Achievement

in Science. *International Journal of Science Education*, 41(13), 1827–47. https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1641855.

Tang, K.S., Park, J., et Chang, J. (2021). Multimodal Genre of Science Classroom Discourse: Mutual Contextualization Between Genre and Representation Construction. *Research in Science Education*. https://doi.org/10.1007/s11165-021-09999-1.

Ünsal, Z., Jakobson, B., Wickman, P.O. et Molander, B.O. (2018). Gesticulating Science: Emergent Bilingual Students' Use of Gestures. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(1), 121–144. DOI:10.1002/tea.21415.

Varelas, M., Kotler, R., Natividad, H., Phillips, N., Tsachor, R., Woodard, R., Gutierrez, M., Melchor, M. et Rosario, M. (2021). Science Theatre Makes You Good at Science': Affordances of Embodied Performances in Urban Elementary Science Classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*. https://doi.org/10.1002/tea.21735.

Wilson, R.E. et Bradbury, L.U. (2021). Assessing Early Primary Students' Growth in a Science Unit Using Multiple Modes of Representation: Investigating the Promise of Explicit Drawing Instruction. *International Journal of Science Education*, 43(8), 1341–64. https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1909774.

Yeo, J., Lim, E., Tan, K. et Ong.Y. (2021). The Efficacy of an Image-to-Writing Approach to Learning Abstract Scientific Concepts: Temperature and Heat. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 19(1), 21–44. https://doi.org/10.1007/s10763-019-10026-z.

Zhang, Y. (2016). Multimodal Teacher Input and Science Learning in a Middle School Sheltered Classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(1), 7–30. https://doi.org/10.1002/tea.21295.

Partie 5 : Construction des savoirs, références pour l'enseignement, formation

Proposition didactique pour la construction du concept physique de volume en cycle 3 et son expérimentation avec deux élèves

Javoy Sandra
Université d'Orléans – France
LDAR, Université de Paris-Cité, Univ. Paris Est Créteil, CY Cergy Paris Université, Univ. Lille, UNIROUEN – France

Résumé

Dans ce chapitre est présenté un scénario d'enseignement de caractéristiques macroscopiques du concept de volume en cycle 3, prérequis à la conceptualisation de la densité, et les résultats de son expérimentation avec deux élèves de CM2. Sa construction émane d'une analyse de contenu et d'un examen des conceptions des élèves sur le concept de volume. La proposition didactique engage une exposition à des activités expérimentales de comparaison, en dehors de toute mesure, et s'appuie sur le modèle allostérique de l'apprendre, basé sur la transformation des conceptions des élèves, favorisée par l'émergence de conflits cognitifs grâce au modèle « Prédire-Observer-Expliquer ». Sa mise en œuvre sous forme de Teaching Experiment a pour objectif d'atteindre les processus d'apprentissage qui s'opèrent et de saisir le degré d'appropriation par les élèves des savoirs visés. Les résultats montrent des effets positifs de la stratégie didactique, à confirmer par une expérimentation en classe.

Introduction

Avec le plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école mis en place en France en 2000 (MEN, 2000), l'importance de l'acquisition des connaissances a été relativisée en faveur d'un enseignement cherchant à développer chez les élèves des démarches, des attitudes et une culture scientifique, en lui « assignant autant qu'il est possible une dimension expérimentale, de développer la capacité d'argumentation et de raisonnement des élèves » (MEN, 2000, p. 1105). Le programme de « Sciences et Technologie » de cycle 3 de 2015 (MEN, 2015) (où suite à la réforme du collège, le cycle 3 relie les deux dernières années de l'école primaire et la première année du collège) réaffirme cette approche puisqu'il est mentionné la « construction de savoirs et de compétences par la mise en œuvre de démarches scientifiques et technologiques » devant également permettre le développement de « la curiosité, de la créativité, de la rigueur, de l'esprit critique et de l'habileté manuelle et expérimentale » (MEN, 2015, p. 61 de l'annexe 2).

Dans ce contexte, une recherche[58] portant sur la construction de concepts scientifiques à la transition école-collège en France est menée depuis 2017. Elle vise notamment l'enseignement et l'apprentissage de la densité pour un solide ou un liquide, grandeur physique mentionnée en cycle 3 dans le BO de 2015 (MEN, 2015), programme en vigueur au moment de l'étude. La densité pour un solide et un liquide rend compte de la masse d'un corps par rapport à celle d'un même volume d'eau liquide à 4°C. En tant que concept, la densité s'inscrit donc dans un système conceptuel complexe comprenant notamment la masse et le volume. Les études de Piaget et Inhelder (1941) et Hashweh (2016) indiquent que sa conceptualisation par les élèves ne peut se réaliser en dehors d'une compréhension du sens physique du volume et la connaissance de certaines caractéristiques macroscopiques du volume. Hashew (2016) montre que :

> Students who had a good understanding of displacement volume were much more likely to understand the concept of density (*ibid.*, p. 15)

[58] Projet CCSEP soutenu et financé par l'ESPE Lille Nord de France en 2017-2018

Dans le cadre du projet de recherche, une séquence d'enseignement de la densité mettant en œuvre des activités de comparaison a été construite et testée (Javoy, 2017). L'analyse de sa mise en œuvre a confirmé la nécessité d'une conceptualisation du volume par les élèves comme préalable à la construction de la densité. Ces différents constats nous ont menées à explorer l'enseignement et l'apprentissage du volume en cycle 3 et à la construction-expérimentation d'un scénario d'enseignement du sens physique du volume et de certaines de ses caractéristiques macroscopiques.

Problématique et question de recherche

Le concept de volume vit dans des univers épistémologique et culturel différents : l'univers des mathématiques, celui de la physique et celui de la vie quotidienne. En physique, le volume est une grandeur extensive qui renvoie à l'espace occupé par la matière. En mathématiques, le volume d'un solide renvoie d'une part à « une figure à trois dimensions, délimitée par plusieurs faces jointives »59 donc aux formes solides (cube, pavé, …) définies en géométrie par opposition aux formes simples (carré, rectangle, …) et d'autre part, à la « mesure de cette figure, calculée selon certaines formules mathématiques »[59]. Anwandter-Cuellar (2013) montre que la coexistence de cet objet mathématique dans deux cadres différents (cadre géométrique et cadre numérique) peut être source d'obstacle pour les élèves s'il est traité sans une articulation entre ces deux cadres. Trois acceptions liées les unes aux autres coexistent donc dans l'enseignement du volume : i) le sens physique, ii) l'acception en géométrie qui considère le volume comme partie de l'espace en 3D et qui peut être mise en regard du sens physique et iii) le calcul d'un volume par des formules mathématiques qui est une des méthodes de mesure de l'espace occupé par la matière (sens physique). Cette double polysémie inter et intradisciplinaire peut constituer un obstacle lexical (au sens d'Astolfi et Peterfalvi, 1993) et être source de difficulté pour les élèves si elle n'est pas abordée avec eux. La coexistence de deux unités de mesure du volume - le litre (et ses multiples et sous-multiples) principalement associé au volume d'un liquide et le mètre cube (et ses multiples et sous-multiples) introduit en cycle 3 comme unité de mesure du volume de solides géométriques (MEN, 2015) - peut aussi conduire les élèves à opérer une

[59] Source : http://cnrtl.fr

distinction entre la définition du volume d'un solide et celle d'un liquide. Dans la vie quotidienne, le volume d'un liquide peut aussi renvoyer, selon le contexte[60], à une quantité de matière (concept associé à la masse en physique). Piaget et Inhelder (1941) pointent d'ailleurs la difficulté pour les enfants de moins de 11-12 ans à différencier les grandeurs masse et volume ; ils considèrent que la dissociation ne s'opère que lorsque les enfants comprennent que le volume d'eau déplacée par un objet immergé dans l'eau est indépendant de sa masse et ne dépend que de son volume. Ces auteurs indiquent aussi que les enfants ne conceptualiseraient la conservation du volume que vers 11-12 ans. Ils précisent cependant que :

> le développement des structures opératoires n'étant pas dû à la seule maturation du système nerveux, mais relevant aussi de l'expérience acquise, des interactions sociales et surtout d'une équilibration progressive des coordinations d'actions, on peut toujours concevoir une action accélératrice de certains facteurs (*ibid.* p. 16).

La multiplication des situations expérimentales auprès des élèves pourrait donc permettre certains apprentissages en dehors des stades de développement de l'enfant décrits par Piaget et Inhelder (1941).

Les études de Dawkins et al. (2008) et d'Akatugba et Wallace (1999) montrent qu'une introduction précoce du formalisme mathématique et l'utilisation de relations mathématiques peuvent détourner les élèves du sens physique de certaines grandeurs et faire écran à leur conceptualisation. Lors d'une conférence à Montréal en 1971, Piaget indiquait que :

> l'enfant peut découvrir beaucoup et aller très loin sous une forme simplement qualitative et logique. Il est capable de comprendre le phénomène au moyen de simples fonctions, sans métrisation. Par contre, si on le met immédiatement en présence de lois avec leur expression métrique, il aura beaucoup plus de peine (propos retranscrits par Pallascio et Jonnaert, 2007, p. 69).

Ce que suggère Piaget c'est d'aborder les grandeurs au travers d'expériences, mais dans un premier temps en dehors du nombre, notamment par des activités de comparaison. Molvinger et al. (2017) déclarent aussi que

[60] Par exemple dans les recettes de cuisine

> Les travaux de recherche en psychologie et en didactique menés sur l'enseignement des grandeurs depuis de nombreuses années suggèrent d'aborder chaque grandeur à partir d'activités de comparaisons directes, puis indirectes avant d'introduire la mesure de ces grandeurs (*ibid.*, p. 140).

Appliqué au concept de masse en CE1, Passelaigue (2011) obtient d'ailleurs une meilleure conceptualisation par les élèves de cette grandeur lorsque son introduction est réalisée à partir d'activités de comparaison.

Pour le volume, l'analyse du cadre institutionnel des cycles 2 et 3 (Javoy et al., 2019) montre que cette grandeur est principalement abordée en mathématiques en dehors d'une exposition à son sens physique et sert à la construction du nombre et de la mesure. Cette prévalence de l'approche mathématique de la grandeur à l'école primaire a aussi été relevée par Molvinger et Munier (2014). Anwandter-Cuellar (2013) signale que :

> les élèves ont des difficultés dans le maniement du concept de volume parce qu'ils le mettent seulement en rapport avec l'application de formules et de systèmes d'unités (*ibid.*, p.55)

qui viendraient selon Barbin (2007) de sa « numérisation » dès l'école élémentaire. L'introduction du volume en classe par sa mesure et l'utilisation de relations mathématiques semble donc faire obstacle à sa conceptualisation et une approche dans un premier temps en dehors de sa quantification paraît préférable. A partir de l'état de l'art présenté ci-dessus, l'objectif de la présente étude est d'apprécier les effets d'une exposition à des activités expérimentales de comparaison, en dehors de toute mesure, sur la construction par les élèves du sens physique du volume, de l'équivalence entre le volume d'un objet et le volume d'eau qu'il déplace lorsqu'il est immergé et de la conservation du volume lors d'un changement de forme, caractéristiques macroscopiques du volume prérequis à la conceptualisation de la densité (Javoy et al., 2018 et 2019).

Cadre théorique et méthodologie

Pour répondre à la question de recherche, un scénario d'enseignement a été élaboré après étude des conceptions des élèves sur le volume. Sa construction s'appuie d'une part sur la théorie constructiviste de l'apprentissage selon laquelle l'individu se construit en interaction avec son environnement et mobilise d'autre part le cadre du changement conceptuel (Hewson et Hewson, 1983). Notre objectif étant d'apprécier les effets de situations d'apprentissage (mettant en œuvre des activités expérimentales de comparaison en dehors de toute mesure) construites à

partir des conceptions des élèves, nous avons choisi plus précisément le modèle allostérique de l'apprendre développé par Giordan depuis 1987. Ce modèle repose en effet sur deux éléments essentiels : l'apprenant et l'interaction contenu-apprenant-situation d'apprentissage, et vise une transformation des conceptions des élèves par un processus de « déconstruction-reconstruction ». Ce modèle défend l'idée que l'apprentissage de savoirs peut être favorisé par la déconstruction des conceptions des élèves à partir de situations les amenant à éprouver les limites explicatives et/ou prédictives de leurs conceptions, suivie d'une reconstruction soutenue par ce que Giordan appelle un « environnement didactique » (1994, p. 298), c'est-à-dire un réseau de conditions propres à générer des apprentissages, où l'enseignant est un organisateur des conditions d'apprentissage.

A partir d'une analyse de contenu du concept de volume et des conceptions des élèves, des activités expérimentales de comparaison, en dehors de toute mesure, ont été créées et agencées. Le modèle « Prédire-Observer-Expliquer » (White et Gunstone, 1992) est utilisé dans deux des trois activités du scénario d'enseignement. Au début de chacune de ces activités, il est demandé aux élèves de prévoir ce qui va se passer lors de la réalisation d'une expérience et de justifier leurs prédictions. Ces expériences ont été élaborées à partir de leurs conceptions initiales afin que leur réalisation amène les élèves à des observations en désaccord avec leurs prédictions et les conduise à une transformation de leurs conceptions, favorisée par la création de conflits cognitifs ou socio-cognitifs (Posner et al., 1982). Ces expériences ont aussi été pensées pour que le phénomène observé conduise directement au savoir visé, expériences prototypiques au sens de Joshua (1989) dont une validation opératoire est obtenue par des expériences de renforcement. Ainsi, les activités proposées doivent conduire les élèves à construire eux-mêmes les savoirs visés par des mises à l'épreuve de leurs conceptions initiales, transformées en de nouvelles conceptions en accord avec le savoir établi. L'ancrage des connaissances est soutenu par la remobilisation des savoirs d'une activité à l'autre qui doit aussi permettre un dépassement durable des adhérences antérieures (Giordan, 1994).

La proposition didactique a été éprouvée sous forme de Teaching Experiment (Komorek et Duit, 2004). Cette méthodologie de recherche recourt à une stratégie d'entretien de type

piagétien[61] pour tester des situations d'enseignement-apprentissage face à un nombre limité d'élèves, où le chercheur (S par la suite) assure les rôles d'interviewer et d'enseignant. Elle permet, lors de l'exposition à des activités d'enseignement, d'obtenir des éléments relatifs aux conceptions et raisonnements des élèves ainsi qu'aux processus d'apprentissage qui s'opèrent (incluant des processus de négociation entre élèves lors de l'apparition de conflits sociocognitifs), et donc ici d'apprécier les effets de la proposition didactique. L'expérimentation a été réalisée en fin d'année scolaire en une séance d'1h auprès de deux élèves (R et C par la suite) n'ayant pas encore été exposés au sens physique du concept de volume durant leur scolarité et d'une même classe de CM2 pour faciliter les échanges entre élèves. Un entretien d'une dizaine de minutes avec les deux élèves a été mené un mois après l'expérimentation du scénario d'enseignement. L'objectif était de saisir le degré d'appropriation par les élèves des savoirs visés. Il leur a été demandé d'expliciter ce qu'ils avaient retenu de la séance, de décrire un objet (un cylindre en métal), puis de proposer une méthode pour comparer le volume du cylindre avec celui, très proche, d'un caillou. Une captation audiovisuelle de l'expérimentation et de l'entretien a été réalisée ; les enregistrements ont été transcrits et analysés qualitativement.

L'analyse des effets de la proposition didactique repose sur une confrontation, pour chaque activité, entre une analyse a priori des réactions attendues des élèves (conceptions initiales et leur transformation) au regard des choix didactiques effectués et une analyse a posteriori s'appuyant sur la réalisation effective de l'activité. Ont été recherchés dans le verbatim l'expression par les élèves de leurs conceptions et les propos témoignant ou non d'une transformation de leurs conceptions et de la construction du savoir visé. L'étude de l'effet de la proposition didactique est complétée par l'analyse des propos des élèves lors de l'entretien. Les gestes des élèves, difficilement prévisibles, n'ont pas été prises en compte pour l'analyse.

[61] Via les interventions de l'interviewer, cette stratégie procède à l'expression par les élèves de leurs idées avec leur justification et à les amener à prendre conscience des limites de leurs conceptions et raisonnements pour les conduire à un changement conceptuel

Analyses préalables et proposition didactique

Nous présentons ci-après les principaux résultats de l'analyse de contenu et des conceptions des élèves sur lesquels s'appuie la construction de la proposition didactique.

Analyse de contenu

L'analyse de contenu procède d'un examen approfondi, présenté sous forme de carte conceptuelle dans la Figure n° 6, des caractéristiques macroscopiques du volume, en tant que grandeur physique rendant compte de l'espace occupé par un solide ou un liquide, et des méthodes usuelles pour le quantifier, que nous discutons ci-après au regard des attendus de fin de cycle 4. Cet examen est complété par une analyse de la construction historique du concept de volume.

Comme indiqué précédemment, le volume est principalement abordé dans l'enseignement primaire français par sa mesure (Javoy et al., 2019). Elle est travaillée dès le cycle 2 (MEN, 2015) en mathématiques dans le thème « Grandeurs et mesures » par la mesure de contenances à l'aide d'un récipient gradué et l'introduction du litre (et sous-multiples) comme unité de mesure (*ibid*., p. 43 de l'annexe 1). Elle est mobilisée dans le même cycle en sciences lors de l'étude des changements d'état de l'eau pour amener les élèves à comparer le volume de l'eau à l'état liquide à celui de l'eau à l'état solide (*ibid*., p. 33). La variation de volume d'un corps lors de son changement d'état est reprise en sciences en cycle 4 (MEN, 2015, p. 79 de l'annexe 3). La détermination du volume de solides géométriques par l'utilisation de formules mathématiques est introduite en mathématiques en cycle 3 (MEN, 2015, p. 77-78 de l'annexe 2), avec le mètre cube (et ses sous-multiples) comme unité de mesure, et se poursuit en cycle 4 avec des solides de formes géométriques de plus en plus complexe (*ibid*., p. 107 de l'annexe 3). L'additivité du volume est travaillée dès le cycle 2 en mathématiques (MEN, 2015, p. 43 de l'annexe 1) sans qu'il soit mentionné, jusqu'à la fin du cycle 4 voire jusqu'à la fin de l'enseignement secondaire, que cette additivité ne s'applique pas à toutes les situations physiques[62]. Bien que le concept de densité soit mentionné en cycle 3 (au moment de l'étude), l'introduction de la masse volumique et de la proportionnalité entre masse et volume n'est

[62] Par exemple, le volume final obtenu en mélangeant 20 mL d'eau et 50 mL d'éthanol est inférieur à 70 mL

attendue, d'après les textes officiels, en mathématiques comme en sciences, qu'à partir du cycle 4 (MEN, 2015, p. 79 et p. 107 de l'annexe 3). La variation de volume d'un solide ou d'un liquide avec la température n'est pas une caractéristique figurant explicitement parmi les attendus de fin du cycle 4. Il semble cependant possible d'aborder le phénomène de dilatation/contraction, propriété commune des différents états de la matière, dès le cycle 3 (MEN, 2015, p. 33 de l'annexe 2). La conservation du volume d'un solide ou d'un liquide lors d'une division ou d'un changement de forme n'est pas non plus explicitement mentionnée dans les textes officiels, de même que la détermination du volume d'un solide de forme quelconque par déplacement d'un liquide après son immersion totale.

De l'analyse historique, nous retenons les définitions tirées du livre d'Euclide intitulé « Du léger et du pesant » traduites et commentées par Forcadel (1565 p. 30-31) :

> 1. Les corps sont d'égale grandeur [volume] s'ils remplissent des lieux égaux
>
> 2. Les corps sont de diverses grandeurs, s'ils remplissent des lieux non égaux
>
> 3. Les corps se disent plus grands de magnitude s'ils sont en plus grand lieu.

qui permettent à Forcadel (1565) de proposer de comparer les volumes de différents corps solides en les immergeant dans un liquide :

> 1. Les corps sont égaux desquels les contenus des lieux qu'ils occupent sont égaux, ou desquels étant mis en quelque humide [liquide] font sortir de l'humide autant l'un que l'autre
>
> 2. Ils seront aussi de diverses grandeurs ou de grandeurs inégales si les contenus des lieux qu'ils occupent sont inégaux et aussi s'ils font sortir de l'humide inégalement
>
> 3. Ce sont ceux desquels les contenus des lieux sont plus grands, ou ceux qui font sortir plus de l'humide [qui] sont plus grands de grandeur (*ibid.* p. 30-31).

Mersenne (1637), s'appuyant sur le fait que lors de l'immersion d'un objet dans un liquide, « il monte toujours une quantité d'eau, ou d'autre liqueur égale à la quantité du corps qui descend dedans » (ibid. Livre VII, p. 20), propose pour trouver le volume d'une cloche de l'immerger « dans un vaisseau plein d'eau, de vin ou d'autre liqueur » et « l'eau qui sortira hors du vaisseau sera égale à la grandeur de la cloche » (ibid.). Pour éviter de « perdre » de l'eau lors du débordement, Mersenne conseille d'utiliser un récipient muni d'un robinet par lequel s'écoulera le trop plein d'eau. Cette idée est reprise par Boudréaux (1875) pour démontrer expérimentalement le principe d'Archimède, donnant sans doute ainsi son nom au « vase de boudreau » plus connu sous « vase à trop plein » ou « vase à débordement ».

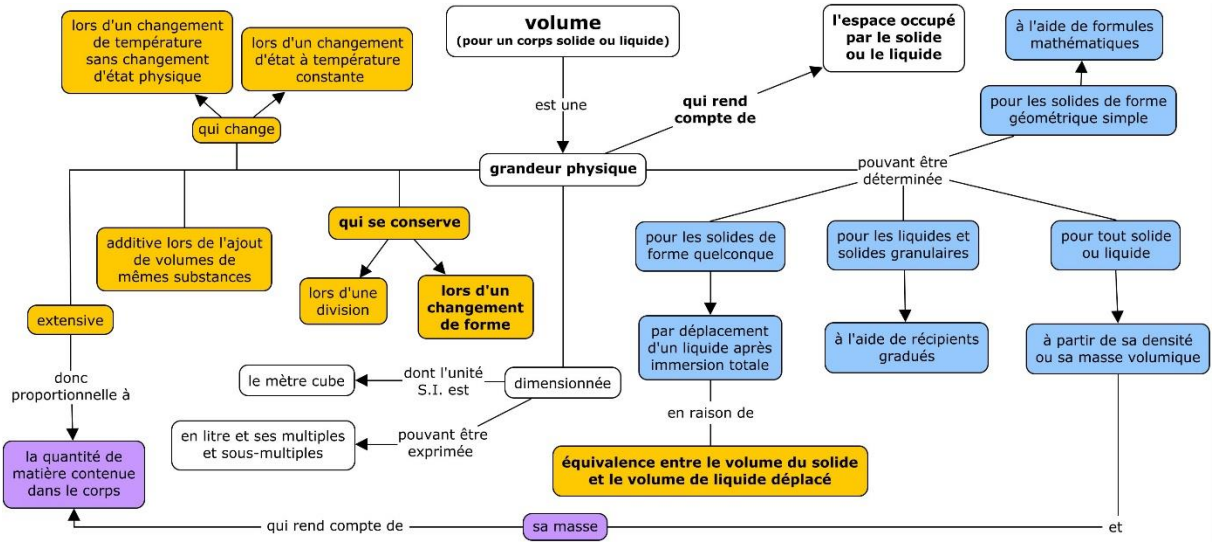


Figure n° 6 : Carte conceptuelle[63] du sens physique du volume d'un solide ou d'un liquide, de ses unités S.I. et usuelle (en blanc), de ses caractéristiques macroscopiques (en orange), des méthodes usuelles pour le quantifier (en bleu) et des liens avec le concept de masse (en violet)

Analyse des conceptions des élèves

L'examen des conceptions des élèves émane d'une revue de littérature en didactique des sciences sur l'enseignement et l'apprentissage du volume, de la masse volumique et de la densité et sur les travaux en psychologie du développement de Piaget et Inhelder (1941). Ce recensement a été complété par nos propres constatations obtenues à partir d'entretiens individuels menés auprès de trois élèves de 6e et deux élèves de CM2. Les résultats sont présentés en détails par Javoy et al. (2018 et 2019). Nous relevons en particulier que les élèves en début de 6e ne semblent pas concevoir le sens physique du volume qu'ils associent à une forme géométrique et à sa mesure par des relations (sens mathématiques du volume relevés dans la problématique), pouvant s'expliquer par la prévalence de l'approche mathématique de la grandeur à l'école primaire. Il ressort également que le rôle fonctionnel du volume dans la vie quotidienne conduit les élèves à associer le volume à une quantité de matière et à opérer une distinction entre le volume d'un solide et celui d'un liquide, conception nourrie, comme indiqué précédemment, par l'utilisation d'unités de mesure différentes selon l'état physique.

[63] Réalisée par l'auteure avec CmapTools

Ces conceptions ne permettent pas aux élèves de concevoir la conservation du volume d'un solide ou d'un liquide lors d'un changement de forme.

Proposition didactique

La proposition didactique est présentée sous forme de scénario d'enseignement dans le Tableau n°7. Elle ambitionne, au regard de la problématique et des résultats des analyses préalables, la construction par les élèves du sens physique du volume, de l'équivalence entre le volume d'un solide et le volume de liquide qu'il déplace lors de son immersion totale et de la conservation du volume d'un solide et d'un liquide lors d'un changement de forme (1re colonne du tableau et éléments en gras de la Figure n° 6), à partir de leurs conceptions initiales (2e colonne). Les activités expérimentales de comparaison, en dehors de toute mesure, inspirées de la construction historique du volume et construites pour répondre à la question de recherche, sont brièvement décrites dans la 3e colonne du Tableau n°7.

Avant d'exposer et discuter les résultats de l'expérimentation, nous décrivons ici la 2e activité pour illustrer l'utilisation du cadre théorique pour la construction et l'analyse des effets de la proposition didactique. Lors de cette activité, il est demandé aux élèves de prévoir, lors de l'immersion totale d'un solide dans un vase à débordement, la façon dont un récipient situé à la sortie du vase va se remplir d'eau (photo 2 en annexe). Nous nous attendons, à partir des conceptions initiales précédemment identifiées, à ce que les élèves fassent une prévision erronée en indiquant que l'eau « va déborder/ne remplira pas complètement le récipient » parce que l'objet est « gros/petit » ou « lourd/léger ». Le phénomène observé lors de la réalisation de l'expérience avec un récipient de récupération d'eau de même forme que le solide utilisé et de contenance équivalente au volume du solide (choix didactique) conduit directement au savoir visé : la place prise par l'eau déplacée dans le récipient peut être directement comparée (sans mesure) à celle du solide dans ledit récipient, c'est-à-dire la même place (expérience prototypique au sens de Joshua, 1989). Ayant montré au préalable aux élèves que le cube introduit dans le récipient cubique prend toute la place du récipient, nous nous attendons à ce que les élèves verbalisent que l'eau écoulée du vase à débordement occupe « la même place/le même espace » que l'objet dans le récipient car l'eau qui s'est écoulée est celle dont « l'objet a pris la place » dans le vase à débordement et donc que « le volume d'eau déplacée correspond au volume de l'objet ». Les expressions entre guillemets sont des exemples de ce qui est recherché dans le verbatim de l'activité, indicateurs d'une transformation de leurs conceptions et de la construction du savoir visé. La réitération de l'expérience avec un solide de forme et

masse différentes et de volume plus ou moins gros que le précédent constitue une expérience de renforcement puisqu'elle conduit à la même conclusion, quels que soient la masse, la forme et le volume de l'objet. Cette 2e itération et la remobilisation du savoir dans la 3e activité (comparaison du volume de solides de différentes formes à partir de la comparaison des volumes d'eau déplacée) vise à renforcer l'abandon des conceptions initiales et l'ancrage du savoir (Giordan, 1994).

Résultats et discussion

1re activité

Dans cette activité, un élève décrit à l'aveugle à l'autre élève trois solides qu'il devra retrouver parmi d'autres (photo 1 en annexe). On s'attend ici à ce que l'utilisation du toucher et du sens baryque favorise l'emploi des adjectifs tels que « gros/petit », « lourd/léger », « lisse/rugueux » … dans les descriptions et que l'utilisation de solides très différents par leur masse, volume, forme géométrique et matériau incite les élèves à les comparer en utilisant les comparatifs « plus/moins …que ». Il est ensuite demandé aux élèves de trier par « famille » les mots employés pour décrire les solides et de préciser la raison de ce tri, dans l'objectif de faire émerger les critères descriptifs d'un objet (Figure 7). Pour la grosseur des solides, nous nous attendons, au regard de l'analyse des conceptions des élèves, à ce qu'ils évoquent la taille plutôt que le volume. L'introduction par l'enseignant du sens physique du volume et la réitération de l'activité doit permettre aux élèves de construire le savoir visé et de différencier « volume » et « forme ».

Lors de l'expérimentation et comme attendu, R et C évoquent facilement les critères « forme » puis « poids », mais ne mentionnent pas le volume. Ils associent dans un premier temps la grosseur des solides à leur surface (conception identifiée par Anwandter-Cuellar, 2013) avant d'évoquer leur taille :

Savoir visé	Conception(s) initiale(s)	Activité et objectifs
Le volume d'un solide rend compte de l'espace qu'il occupe, tandis que sa forme rend compte de la façon dont il occupe l'espace	Volume d'un solide associé à sa forme	1re activité (photo 1 en annexe) : description à l'aveugle de 3 solides par un élève à d'autres élèves (devant ensuite les retrouver parmi d'autres), préalable à une discussion sur les différents critères descriptifs d'un solide et à l'introduction du sens physique du volume ; réitération avec des solides différents Objectifs : - distinction « forme » et « volume » d'un solide - association du volume d'un solide à l'espace qu'il occupe
Le volume d'un liquide déplacé lors de l'immersion totale d'un solide est équivalent au volume du solide	- Volume d'un liquide associé à sa forme ou/et à une quantité de matière - Non équivalence entre le volume d'un solide et le volume d'un liquide déplacé lors de son immersion (même si « plus/moins gros » entraîne « plus/moins de liquide déplacé ») - Volume de liquide déplacé dépend de la masse et de la forme du solide	2e activité (photo 2 en annexe) : prévision puis vérification par l'expérience du volume d'eau déplacée lors de l'immersion totale d'un solide ; réitération avec un solide de forme, masse et volume différents Objectifs : - construction de l'équivalence entre le volume d'un solide et le volume d'eau déplacée lors de son immersion totale, quels que soient sa forme, sa masse et son volume - extension de la définition du volume d'un solide à celui d'un liquide
Il y a conservation du volume d'un solide ou d'un liquide lors de son changement de forme	Volume d'un solide ou d'un liquide associé à sa forme induisant que le volume d'un solide ou d'un liquide change si sa forme change	3e activité (photo 3 en annexe) : 1) prévision et construction d'un protocole permettant de comparer le volume de deux solides de formes différentes 2) prévision et vérification par l'expérience du changement ou non du volume d'un solide après déformation 3) questionnement sur la conservation du volume d'un liquide après déformation Objectifs : - ancrage de la distinction « forme » et « volume » avec des solides de formes différentes mais de même volume - construction de la conservation du volume d'un solide après sa déformation - extension de la conservation du volume au cas des liquides

Tableau n°7 : Scénario d'enseignement

S : le fait que c'est le plus gros c'est le moyen c'est le plus petit

C : c'est la surface

S : et toi R ? tu dirais aussi que c'est la surface ?

R : ben je pense oui

C : l'aire

S : est-ce qu'il y aurait d'autres mots possibles ? il est gros il est petit

C : la taille

La chercheuse (S) indique alors que le critère associé aux adjectifs « petit/gros » est le volume dont elle introduit le sens physique : « le volume d'un objet ça va être l'espace/la place occupé par l'objet », qu'elle différencie de sa forme : « c'est la façon dont l'objet occupe l'espace/la place ». Lors de la réitération de l'activité, les élèves mobilisent le vocabulaire introduit par S et leurs propos semblent indiquer qu'ils ont assimilé la différence entre forme et volume. C décrit un 1er solide : « c'est rectangulaire, c'est dur, c'est léger, heu ça prend beaucoup de place », un 2e : « la forme c'est rond […] le volume enfin ça prend plus de / c'est plus gros que la paume de la main » et un 3e : « le volume ben c'est tout petit enfin assez petit ».

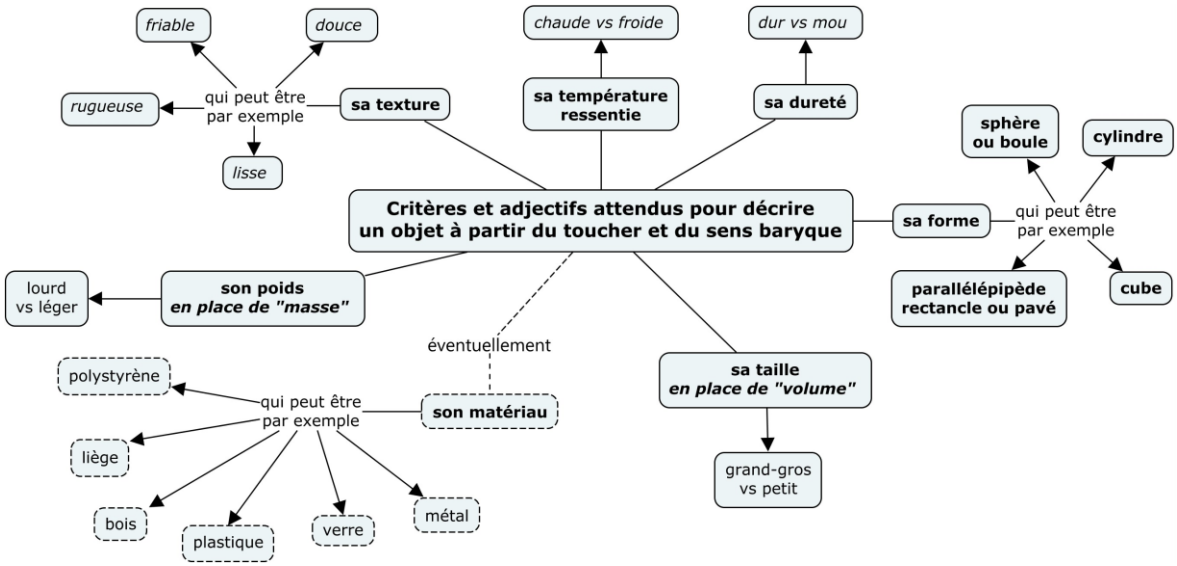


Figure 7 : Carte conceptuelle[63] des critères et adjectifs attendus pour la 1re activité

Bien que non prévu dans le scénario, S demande aux élèves si en changeant la forme de la pâte à modeler (solide présent lors de la réitération de l'activité) son volume change. Les élèves évoquent dans un premier temps un changement de volume : lors du passage d'un disque de pâte à modeler à une boule, C indique que « ça prend moins de place », avant d'hésiter : « parce que à la base c'est toujours la même pâte […] ça fait le même volume ben au final il y a autant de pâte ». Cet épisode de l'expérimentation confirme que les élèves sont non

conservants pour le volume, conception identifiée lors de l'analyse préalable et qui sera éprouvée lors la 3e activité.

2e activité

Lors de l'expérimentation de cette activité dont le déroulé et l'analyse a priori ont été présentés précédemment, bien que ce soit la première fois qu'ils voient un vase à débordement, R et C n'ont aucune difficulté à comprendre son fonctionnement et à s'en servir. Comme attendu, ils ne prévoient pas que le volume d'eau déplacée est identique à celui du solide immergé et pensent que l'eau remplira « à même pas la moitié » le récipient parce que l'objet « est pas très gros » (C). La conception selon laquelle le volume d'eau déplacée dépend de la masse de l'objet n'a par contre pas été exprimée par R et C. La réalisation de l'expérience permet aux élèves de confronter leur prévision et de construire l'équivalence entre le volume d'eau déplacée et le volume du solide qu'ils justifient en remobilisant partiellement le vocabulaire introduit lors de la 1re activité :

> C : ben si en fait c'est logique vu qu'il (cube) fait la taille du récipient / ben vu qu'il fait la taille du récipient […] dans l'eau il prend à peu près la même place que le récipient
> R : oh c'est vrai (étonné de voir l'eau remplir totalement le récipient)
> C : et du coup quand l'eau elle va couler et ben l'eau elle va remplir tout le récipient parce que le cube il fait à peu près sa taille

Lors de la réitération de l'expérience avec un cylindre en acier et une éprouvette de diamètre légèrement supérieur à celui du cylindre, les élèves prévoient correctement le niveau d'eau dans l'éprouvette. Le mot « taille » sera progressivement remplacé par « espace » puis « volume » grâce à cette réitération et par la remobilisation du vocabulaire à la 3e activité. L'association du volume d'un solide au volume d'eau qu'il déplace lors de son immersion permet à S d'étendre la définition du volume d'un solide au volume d'un liquide.

3e activité

Pour cette 3e activité, les élèves ont plusieurs solides de même volume (sans qu'ils le sachent) mais de formes différentes[64] (photo 3 en annexe). Ils doivent se prononcer sur celui qui a le plus grand volume et ensuite proposer un protocole permettant de le vérifier. On s'attend ici à ce que les élèves réinvestissent le savoir et le protocole de la 2e activité et qu'ils proposent de reprendre l'éprouvette pour comparer les volumes, en dehors de toute mesure, en comparant la hauteur d'eau récupérée à la sortie du vase à débordement. L'objectif est d'amener les élèves à la conclusion que des objets de formes différentes peuvent avoir le même volume, ce qui permet d'une part, d'ancrer la différence entre « forme » et acception physique de « volume » et, d'autre part, d'anticiper la construction de la conservation du volume lors d'un changement de forme, questionnée en fin d'activité avec de la pâte à modelée.

Lors de l'expérimentation, pour classer les solides selon leur volume, R et C comparent dans un premier temps leurs dimensions. Ce raisonnement peut faire écho à l'approche mathématique du volume à l'école primaire. R essaie ensuite de s'imaginer le volume des objets si leur forme était identique : « oui parce que si tu l'aplatis un peu ça ferait peut-être un cube ». R semble ici avoir construit la différence entre « forme » et « volume » et appelle implicitement la conservation du volume. C propose pour comparer le volume du cube à celui de la sphère de comparer la place restante dans le récipient cubique utilisé précédemment après introduction des solides : « ben faut regarder ce qu'il reste / ben celui-là il reste les quatre coins ». R propose finalement d'utiliser le vase à débordement et de comparer les volumes des solides en comparant les volumes d'eau qu'ils déplacent. L'utilisation d'objets de formes différentes mais de volume identique permet un ancrage de la différence entre « forme » et « volume » : « la forme ils ne sont pas pareil le volume c'est exactement pareil » (R), puis C indique pour le volume : « c'est l'espace qu'il prend » et la forme : « c'est la façon dont il l'occupe ». Contrairement à la fin de la 1re activité où les élèves hésitaient sur la conservation du volume de la pâte à modeler après déformation, R et C prévoient maintenant

[64] Voire de matériaux et donc masses différentes pour s'assurer de la conceptualisation du savoir de la 2e activité

avec assurance sa conservation et proposent spontanément un protocole avec le vase à débordement et l'éprouvette pour le vérifier. C justifie la conservation du volume en remobilisant la conservation de la matière : « ben vu que on n'a pas refait de la pâte ».

Afin de saisir si les élèves parviennent à transposer la conservation du volume d'un solide à celle d'un liquide, S leur demande si lors du transvasement d'un liquide d'un récipient à un autre récipient de forme différente le volume ou la forme du liquide reste identique. C indique immédiatement la conservation du volume ; R a en revanche besoin d'un passage par la visualisation de la situation pour être convaincu.

Entretien post-expérimentation

Interrogés sur ce qu'ils ont retenu de la précédente séance, R et C citent le matériel utilisé et les tâches réalisées lors des activités expérimentales, tout en évoquant rapidement le concept de volume et implicitement l'équivalence entre le volume d'un solide et le volume d'eau qu'il déplace lorsqu'il est immergé :

> R : on avait une boîte on devait sentir des objets les décrire sans regarder
> […]
> C : il y a aussi le volume enfin avec l'eau / et les objets / enfin on mettait des objets dans l'eau et on prenait dans un récipient et on voyait heu le volume que ça prenait

La fonction implicative et motivationnelle des activités expérimentales, relevée par Marzin-Janvier (2013), semble avoir facilité la construction et la mémorisation de connaissances. Interrogés sur le sens de « volume » et « forme », les élèves indiquent : « le volume c'est la place qu'il occupe » et pour la forme « c'est comment il occupe l'espace ». Lorsque S demande si « c'est la même définition que ce soit un solide ou un liquide », les élèves répondent oui spontanément en précisant que « le liquide il a pas vraiment de forme », indicateur supplémentaire d'un distinguo opéré par les élèves entre volume et forme. Pour comparer les volumes des solides mis à leur disposition, ils proposent rapidement de comparer les volumes d'eau déplacée après immersion :

> S : comment on pourrait faire pour savoir lequel a le plus grand volume ?
> R : ben lui (le cylindre) déjà le tremper avec l'eau et heu pareil pour lui (le caillou)
> S : on le trempe dans l'eau et puis qu'est-ce qu'il se passe ?
> R : on le met dans un autre récipient
> S : qu'est-ce qu'on met dans un autre récipient ?
> R : ben l'eau qui coule

S : l'eau qui coule mais pourquoi est-ce que l'eau elle coulerait ?

C : avec le vase à débordement

R : oui c'est un vase avec un petit heu tuyau qui permet de faire couler l'eau qu'il y a en trop et on pourrait faire pareil avec le / on met le caillou dedans et on voit l'eau qui coule et pareil pour celui-là (le cylindre) / l'eau si elle est plus grande par exemple ce serait lui / si elle est plus petit ce serait lui

S : et ensuite qu'est-ce qui nous permet de dire alors lequel a le plus grand volume ?

C : on fait une marque à l'endroit heu où arrive l'eau du premier et après sur le récipient dans lequel on fait écouler l'eau et après on compare avec le deuxième

La stratégie didactique paraît ici avoir contribué au développement de savoir-faire expérimentaux. La conservation du volume n'ayant pas été questionnée lors de l'entretien, nous ne pouvons conclure sur l'appropriation de ce savoir par les élèves, mais la conduite d'activités expérimentales donnant aux élèves les moyens d'agir sur des « objets scientifiques » et de structurer les concepts associés, semble avoir permis la construction des autres savoirs visés. Ceci a probablement été favorisé par une approche en dehors du nombre et de la mesure : bien qu'exposés à une éprouvette graduée, aucun des élèves ne s'est servi des graduations (cf. dernière intervention de C ci-dessus) et aucun mot tel que « mesure », « calcul » ou autres relevant de l'univers des mathématiques n'a été mobilisé par les élèves durant l'expérimentation et le post-entretien.

Conclusion et perspectives

La revue de littérature présentée au début de ce chapitre indique qu'une approche du concept de volume par sa numérisation semble faire obstacle à sa conceptualisation. Aussi, notre étude visait la construction d'un scénario d'enseignement du concept de volume en cycle 3 engageant une exposition des élèves à des activités expérimentales de comparaison en dehors de toute mesure et son expérimentation avec deux élèves de CM2. La proposition didactique, construite à partir du modèle allostérique de l'apprendre, c'est-à-dire par « déconstruction-reconstruction » des conceptions des élèves grâce à un « environnement didactique » favorisant l'apprentissages des savoirs visés, semble avoir permis aux élèves de construire le sens physique du volume et de s'approprier les caractéristiques macroscopiques retenues pour l'étude (équivalence entre le volume d'un solide et le volume d'eau qu'il déplace lorsqu'il est immergé et conservation du volume lors d'un changement de forme), attendus de fin de cycle 4 et prérequis à la conceptualisation de la densité. La stratégie didactique

conduit aussi au développement de savoirs et savoir-faire expérimentaux prérequis à la mesure du volume d'un solide par déplacement d'eau, attendu des nouveaux programmes de cycle 3 (MEN, 2023).

L'expérimentation de la proposition didactique ayant été menée sous forme de Teaching Experiment, elle ne prend pas en compte la complexité d'une classe et « l'épistémologie de l'enseignant » au sens d'Arsac cité par Artigue (1988, p. 303) : la conception que l'enseignant se fait des notions travaillées, sa conception de l'enseignement et sa conception de l'apprentissage. Une mise en œuvre avec différentes classes et différents enseignants permettrait d'étudier la façon dont les enseignants s'emparent du scénario d'enseignement, notamment en fonction de leurs propres conceptions sur le concept de volume et de la place et du rôle qu'ils assignent habituellement aux activités expérimentales et aux mesures. Il est notamment à prévoir que l'approche en dehors du nombre et de la mesure pour l'enseignement de grandeurs scientifiques soit assez singulière dans les pratiques des enseignants (guidées par les attendus ministériels), ce qui peut avoir un effet sur la mise en œuvre du scénario en classe.

Pour s'assurer que les enseignants en classe puisse recréer des conditions comparables à l'expérimentation réalisée avec les deux élèves, une présentation aux enseignants des conceptions attendues des élèves (avec leur justification) lors des différentes étapes de la séquence d'enseignement et une explicitation des choix didactiques opérés au regard de ces conceptions constituent des préalables à une appropriation efficiente de la séquence par les enseignants. Nous envisageons aussi, dans le cadre de formations, de « faire vivre » tout ou partie de la proposition didactique à certains des enseignants qui réaliseront une expérimentation afin d'en étudier l'impact, c'est-à-dire de questionner l'influence de cette formation sur leur appropriation de la séquence et sa mise en œuvre effective en classe.

Si lors de ces mises en œuvres, un itinéraire cognitif identique à celui de la proposition didactique est recherché, des adaptations de nature médiative sont cependant à imaginer dans le contexte de classe entière. Parmi ces adaptations, un découpage de la séquence en deux séances avec remobilisation, en début de deuxième séance, des connaissances travaillées lors de la première est à prévoir. Ces séances contiendraient une alternance de travaux en petits groupes d'élèves lors de la réalisation des activités expérimentales et de temps d'échanges collectifs : avant la mise en activité en sous-groupes pour faire émerger les conceptions des élèves (à envisager par exemple sous forme de débats entre les élèves, animés par

l'enseignant) et « post-activités » pour une mise en commun et une institutionnalisation collective des savoirs (ensemble de la classe qui se met d'accord sur les conclusions de l'activité pour mener les élèves à reconnaître et accepter les savoirs visés). La place de l'écrit (par rapport à l'oralité), non prise en compte dans la présente étude et laissée à la discrétion des enseignants expérimentateurs, constitue une autre adaptation potentielle de nature médiative de la proposition didactique. La disponibilité du matériel (vases à débordement, objets de volume identique à la contenance de récipients de même forme que les objets, nombre conséquent d'objets de masse, forme, volume, matériaux … différents) peut constituer un frein à la mise en œuvre du scénario d'enseignement. Un accompagnement des enseignants dans le choix du matériel au regard des choix didactiques est à prévoir pour la viabilité du scénario didactique.

Cette deuxième phase d'expérimentation permettra également de questionner à plus grande échelle les effets de la proposition didactique sur l'apprentissage des élèves, d'apporter d'éventuelles modifications au scénario d'enseignement pour son optimisation et, à terme, la production de ressources pour les enseignants.

Références bibliographiques

Akatugba, A. H. et Wallace, J. (1999). Mathematical Dimensions of Students' Use of Proportional Reasoning In High School Physics. *School Science and Mathematics, 99*(1), 31-41. https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1999.tb17443.x

Anwandter-Cuellar, N. (2013). Conceptions d'élèves de collège à propos de la notion de volume. *Petit x, 93*, 53-75. https://irem.univ-grenoble-alpes.fr/medias/fichier/93x4_1560761463705-pdf

Artigue, M. (1988). Ingénierie didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques, 9*(3), 281-308. https://revue-rdm.com/1988/ingenierie-didactique-2/

Astolfi, J.-P. et Peterfalvi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, 16, 103-141. https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1993_num_16_1_1012

Barbin, E. (2007). L'arithmétisation des grandeurs. *Repères IREM, 68*, 5-20. https://publimath.univ-irem.fr/numerisation/WR/IWR07018/IWR07018.pdf

Boudréaux. (1875). Démonstration expérimentale du principe d'Archimède. *Journal de physique Théorique et Appliquée, 4*(1), 85-87. https://doi.org/10.1051/jphystap:01875004008501

Dawkins, K. R., Dickerson, D. L., McKinney, S. E. et Butler, S. (2008). Teaching Density to Middle School Students: Preservice Science Teachers'Content Knowledge and Pedagogical Practices. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas, 82*(1), 21-26. https://doi.org/10.3200/TCHS.82.1.21-26

Forcadel, P. (1565). *Ensemble ce qui se trouve du livre d'Euclide intitulé du Léger et du pesant*. C. Perrier.

Giordan, A. (s.d.). *Apprendre*. https://www.andregiordan.com/articles/apprendre/apprendre.html

Giordan, A. (1994). Le modèle allostérique et les théories contemporaines sur l'apprentissage. Dans A. Giordan, Y. Girault et P. Clément (dir.), *Conceptions et connaissances* (p. 289-315). Peter Lang.

Hashweh, M. Z. (2016). The complexity of teaching density in middle school. *Research in Science & Technological Education, 34*(1), 1-24. https://doi.org/10.1080/02635143.2015.1042854

Hewson, M. G. et Hewson, P. W. (1983). Effect of instruction using students' prior knowledge and conceptual change strategies on science learning. *Journal of Research in Science Teaching, 20*(8), 731-743. https://doi.org/10.1002/tea.3660200804

Javoy, S. (2017). *Vers une première approche du concept de densité en cycle 3* [mémoire de master]. Université Paris Diderot.

Javoy, S., Decroix, A.-A. et de Hosson, C. (2018, 27 au 30 mars). *Les conceptions des élèves qui pourraient faire obstacle à l'apprentissage de la densité en cycle 3* [communication orale]. 10e rencontres de l'ARDIST, Saint Malo. https://ardist.org/activites-scientifiques/rencontres-scientifiques/rencontres-scientifiques-2018/

Javoy, S., Decroix, A.-A. et de Hosson, C. (2019). La construction du concept physique de volume en cycle 3 : quelles difficultés ? quelles stratégies didactiques ? Dans M. Abboud-Blanchard (dir), *Actes du Colloque EMF 2018. Mathématiques en scène des ponts entre les disciplines* (p. 395-404). IREM de Paris.

Johsua, S. (1989). Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire. *Aster*, 8, 29-53. https://doi.org/10.4267/2042/9154

Komorek, M. et Duit, R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education, 26*(5), 619-633. https://doi.org/10.1080/09500690310001614717

Marzin-Janvier, P. (2013). *Comment donner du sens aux activités expérimentales ?* [Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Grenoble I]. CorpusUL. https://theses.hal.science/tel-00966001

Mersenne, M. (1637). *Seconde partie de l'Harmonie universelle, contenant la théorie et la pratique de la musique.* S. Cramoisy

Ministère de l'Education Nationale (2000, 15 juin). *Plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école* (BO n°23). https://www.education.gouv.fr/bo/2000/23/ensel.htm

Ministère de l'Education Nationale (2015, 26 novembre). *Programme d'enseignement du cycle des apprentissages fondamentaux (cycle 2), du cycle de consolidation (cycle 3) et du cycle des approfondissements (cycle 4)* (BO spécial n°11). https://www.education.gouv.fr/bo/15/Special11/MENE1526483A.htm

Ministère de l'Education Nationale (2023, 22 juin). *Annexe – Programme de sciences et technologie du cycle 3* (BO n°25). https://www.education.gouv.fr/bo/2023/Hebdo25/MENE2314101A

Molvinger, K., Chesnais, A. et Munier, V. (2017). L'enseignement de la masse à l'école élémentaire : pratiques d'une enseignante débutante en éducation prioritaire. *Recherches en didactique des sciences et des technologies, 15*, 133-167. https://doi.org/10.4000/rdst.1501

Molvinger, K. et Munier, V. (2014). Etude des pratiques d'une enseignante sur les notions de contenance et de volume en CM2 en éducation prioritaire. *Educational Journal of the University of Patras UNESCO Chair, 1*(2), 34-45. https://doi.org/10.26220/une.2186

Pallascio, R. et Jonnaert, P. (2007, 6 au 8 juin). *Psychologie et didactique : Jean Piaget* [Lettre publique]. Colloque du GDM, Rimouski.

Passelaigue, D. (2011). *Grandeurs et mesures à l'école élémentaire. Des activités de comparaison à la construction des concepts : le cas de la masse en CE1*. [Thèse de doctorat, Université Montpellier 2]. CorpusUL. https://ged.biu-montpellier.fr/florabium/jsp/nnt.jsp?nnt=2011MON20161

Piaget, J. et Inhelder, B. (1941). *Le développement des quantités physiques chez l'élève : conservation et atomisme* (2e éd.). Delachaux et Niestlé.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. et Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education, 66*(2), 211-227. https://doi.org/10.1002/sce.3730660207

White, R. et Gunstone, R. (1992). *Probing Understanding*. Routledge. https://doi.org/10.4324/978020376134

Annexe

Photo 1 : solides de la 1re activité

Photo 2 : matériels et solides de la 2e activité

Photo 3 : matériels et solides de la 3e activité

Le dessin pour développer l'observation et la réflexion des élèves de maternelle

Chalmeau Raphaël [(1)], Lafitole Monique [(2,3)], Mourgues Sophie [(2,3)], Ramos Beato Maéva [(2)], Bergamaschi Gabrielle [(2)], Mortelecque Lucile [(2)]
[(1)] INSPE Toulouse Occitanie Pyrénées, Structure Fédérative de Recherche - Apprentissage, Education Formation (SFR-AEF) & Laboratoire GEODE - UMR 5602, Université Toulouse Jean Jaurès, Toulouse - France
[(2)] Ecole Maternelle d'application Maurice Bécanne, 31300 Toulouse – France
[(3)] INSPE Toulouse Occitanie Pyrénées, Maîtresses formatrices Master MEEF premier degré, Toulouse - France

Résumé

Les élevages constituent un dispositif pédagogique particulièrement approprié à la construction d'une démarche d'observation dès l'école maternelle. Dans ce contexte, ils permettent de travailler des notions biologiques ainsi qu'une première responsabilisation à l'égard du vivant animal. Si les relations entre langage et sciences ont nourri les recherches dès l'émergence de la didactique des sciences, le questionnement autour des écrits scientifiques en maternelle, tel que le dessin d'observation, reste encore relativement rare. Nous proposons, à partir d'une étude réalisée dans quatre classes de maternelle engagées dans une démarche d'investigation sur la vie de différents animaux, d'explorer dans quelle mesure les dessins permettent de travailler des compétences d'observation et d'oral réflexif au service des apprentissages en sciences du vivant.

Introduction

Les élevages constituent un dispositif recommandé dans les programmes de l'école pour travailler sur les caractéristiques du vivant animal. Cette pratique n'est pas nouvelle et trouve sa place dans le curriculum dès l'école maternelle[65] (Charles, 2015 ; Dell' Angelo-Sauvage et al., 2014). Il s'agit alors de construire des apprentissages scientifiques (caractéristiques biologiques des animaux), méthodologiques (dessin d'observation, démarche expérimentale) et éthiques (responsabilisation à l'égard du vivant et de l'environnement).

La démarche d'observation est une compétence à développer dès la maternelle, il est indiqué dans les programmes que « l'enseignant propose des activités qui amènent les enfants à observer, formuler des interrogations plus rationnelles, construire des relations entre les phénomènes observés, (…) » (MEN, 2021). Comme le précisait Calmettes (2000, p. 221), « on n'observe pas n'importe quoi, n'importe comment, avec une tête "vide" de toute connaissance antérieure ». Cette démarche d'observation implique réflexion et questionnement et dépend « des représentations que l'élève a de sa tâche et du récepteur de sa production, de ses interrogations (…) ».

De plus, les élèves doivent apprendre à respecter le vivant. Pour Coquidé (2015), le développement d'une posture « objective » de l'observateur n'est pas suffisant pour pouvoir appréhender toutes les caractéristiques du vivant. Elle plaide pour une approche phénoménologique intégrant une dimension d'expérience[66]. La rencontre directe avec d'autres êtres vivants, notamment au travers d'élevages, rend possible cette approche car l'élève en tant que « sujet est aussi touché par son rapport affectif et émotionnel au vivant » (Coquidé, 2015, p. 9).

Notre problématique s'intéresse aux fonctions cognitives, épistémologiques et didactiques des dessins réalisés par les élèves de maternelle lorsqu'ils travaillent sur la morphologie des

[65] MEN (2021). Programmes d'enseignement de l'école maternelle. Bulletin officiel n°25 du 24 juin 2021. MEN (2015). Ressources maternelle - Explorer le monde du vivant, des objets et de la matière. Les élevages. Eduscol. https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Explorer/45/7/Ress_c1_Explorer_elevages_456457.pdf

[66] au sens de vécu (dimension expérientielle), non au sens d'expérimentation.

animaux. Dans ce contexte, nous cherchons à analyser dans quelle mesure la production de ces écrits graphiques participe à l'apprentissage d'une démarche d'observation et nourrit le questionnement des élèves.

Cadre théorique et questions de recherche

Les relations entre langage et sciences pour construire un raisonnement scientifique

La didactique des sciences, dès son origine, s'est intéressée aux relations entre langage et sciences (Bisault, 2005 ; Fillon et Vérin, 2001). En effet, Host (1980, p. 12) indiquait que les « activités de communication et de symbolisation, matérialisées par des productions orales, écrites et graphiques » articulées aux activités scientifiques permettent « la progression de la pensée scientifique des élèves ». Nous nous situons dans la perspective socioculturelle soulignée par Bisault et Lhoste (2020) lorsqu'ils considèrent que l'apprentissage en sciences est « une contribution au développement » de l'enfant. Dans ce contexte, l'éducation scientifique et technologique dès l'école maternelle, en enrichissant le capital d'expériences des élèves, participe à la construction de la capacité au raisonnement scientifique (Charles, 2020 ; Ledrapier, 2010 ; Ravanis, 2010).

Les productions graphiques des élèves de maternelle sous forme de dessin sont des écrits qui nourrissent la démarche d'investigation (Charles, 2021 ; Delserieys et Kampeza, 2020). La confrontation orale des conceptions initiales ou des représentations des élèves, considérées comme le système explicatif auquel ont recours les élèves pour décrire un « objet » ou phénomène scientifique, est une étape importante de la démarche d'investigation en favorisant le questionnement et la problématisation (Astolfi, 1984 ; Giordan et De Vecchi, 1987 ; Orange et Orange Ravachol, 2013). A l'école maternelle, les dessins de représentation sont souvent utilisés en début de séquence pour permettre aux élèves de se poser des questions afin d'entrer dans une démarche réflexive. Le dessin d'observation est une autre trace graphique qui intervient au cours d'une démarche de recherche fondée sur des compétences d'observation du vivant (Guichard, 1998 ; Chalmeau et Chalmeau, 2023).

Le dessin d'observation : un écrit graphique au service de la démarche scientifique

Ainsworth, Prain et Tytler (2011, p. 1096) considèrent que « le dessin des élèves devrait être explicitement reconnu comme un élément clé de l'enseignement des sciences ». Trois fonctions majeures du dessin en sciences peuvent être identifiées (Delserieys, Fragkiadaki et Kampeza, 2021, p. 99) : (i) une fonction cognitive (support au développement d'une pensée abstraite), (ii) une fonction épistémologique (appropriation de normes scientifiques ; i.e. dessin d'observation), et enfin (iii) une fonction didactique (supports à la confrontation d'idées, i.e. confrontation de dessins de représentations).

Dans le domaine de la didactique des sciences du vivant, le dessin d'observation constitue à la fois le support et le résultat d'une démarche d'observation (Dempsey et Betz, 2001 ; Fox et Lee, 2013 ; Guichard, 1998). Pour une tâche scolaire de réalisation d'un dessin d'observation, le critère de réussite principal est la ressemblance entre le dessin et ce qu'il représente, donc un certain degré d'iconicité avec des caractéristiques du réel (Baldy, 2005 ; Chalmeau et Verdugo De la Fuente, 2021).

Ces écrits graphiques peuvent être considérés comme des écrits instrumentaux supports de la réflexion des élèves en sciences et témoins de leurs connaissances (Plé et Dedieu, 2020). Si l'on considère que les connaissances épistémiques sont une des trois composantes de la connaissance, avec les contenus et les procédures (Osborne, 2002 ; Jiménez-Aleixandre, 2022) ; les réflexions sur la nature et les caractéristiques du dessin engagent alors les élèves dans une pratique épistémique. Dans ce cadre, deux types de productions graphiques peuvent être mobilisées au service de la démarche scientifique :

- le dessin de représentation utilisé pour favoriser le questionnement initial, notamment sur le corps de l'animal ;
- le dessin d'observation comme compte-rendu d'une observation et d'une description du corps, ainsi qu'une focalisation sur certaines caractéristiques.

Dans le premier cas, l'élève s'appuie sur une image mentale alors que dans le second cas, l'observation du réel devient un support contribuant à la réalisation de cet écrit (Picard et Zarhbouch, 2014).

Questions de recherche

Nos questions de recherche s'intéressent aux fonctions cognitives, épistémologiques et didactiques des dessins (Delserieys, Fragkiadaki et Kampeza, 2021) lorsqu'ils sont intégrés dans une démarche d'investigation sur les caractéristiques morphologiques des animaux :

- Dans quelle mesure les élèves de 3 à 6 ans identifient et caractérisent le dessin de représentation et le dessin d'observation ?
- Dans quelle mesure ces écrits graphiques participent à la démarche d'observation et à la réflexion des élèves ?

Les hypothèses, mises à l'épreuve dans cette recherche, reposent sur la possibilité pour des élèves de maternelle d'apprendre à caractériser ces deux types de dessins dès lors que les propositions didactiques répondent à cet objectif. En effet, la mise en place d'un échange oral sur la comparaison de ces deux dessins pourrait nous renseigner sur ce que les élèves identifient comme fonction(s) à ces dessins.

Méthodologie

Contexte de la recherche

Cette étude s'inscrit à la suite d'une recherche exploratoire déjà menée sur un petit nombre d'élèves de moyenne section (MS) et de grande section (GS) de maternelle (4 et 5 élèves respectivement) dans une classe rurale multi-âges autour de l'observation et du dessin d'un poisson rouge (Chalmeau et Chalmeau, 2023). Elle visera à confirmer et à compléter les premiers résultats obtenus, dans une dimension quantitative puisque l'étude présentée concerne 40 élèves de MS et 72 de GS et elle s'étendra aussi aux élèves de PS (36 PS). De plus, elle permettra de documenter plus largement ce que les élèves construisent comme compétence d'observation, selon l'âge, selon l'animal étudié (cf. ci-après), et selon les dispositifs pédagogiques (discussion par âge ou par groupes multi-âges sur les caractéristiques d'un dessin de représentation et d'un dessin d'observation).

Elèves participants

Quatre classes de maternelle de l'école d'application Maurice Bécanne (Toulouse) participent à cette recherche collaborative[67]. Les classes sont toutes multi-âges (PS-MS-GS) et les élevages prévus concernent des escargots, des coccinelles, des canetons et enfin des vers à soie[68]. L'unité d'apprentissage autour des élevages a été co-construite entre les enseignantes et l'enseignant-chercheur, afin de préciser les contenus en garantissant les enjeux en termes de savoirs scientifiques visés (caractéristiques morphologiques, développement animal et besoins des animaux), de démarche d'investigation (démarche d'observation et démarche expérimentale notamment) et de responsabilisation à l'égard des animaux. La recherche est conduite dans un contexte de collaboration entre les enseignantes et le chercheur (Desgagné, 1997).

Déroulement de la séquence pédagogique

La séquence se décline dans chaque classe avec un déroulement identique d'avril à juin 2022. Les données sont recueillies en début de séquence (dessin de représentation : DR), en milieu de séquence (dessins d'observation : DO) et en fin de séquence (discussions autour des différences et points communs entre les deux types de dessins ; figure n°1).

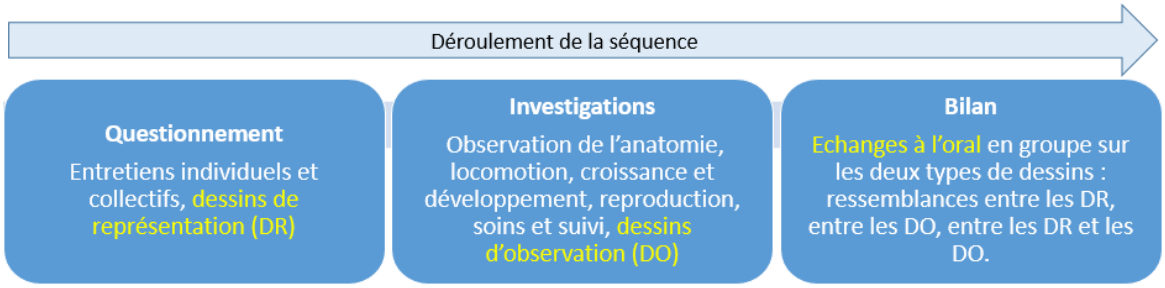


Figure n°1 : Données recueillies en fonction du déroulement de la séquence.

[67] Cette recherche s'inscrit dans les recherches collaboratives financées par la structure fédérative de recherche - apprentissage, éducation et formation (SFR-AEF) de l'INSPE Toulouse Occitanie Pyrénées.

[68] Après discussion et échanges avec le chercheur sur les intérêts et limites de chaque animal, du point de vue des caractéristiques biologiques, de la facilité de manipulation par les élèves, des tâches d'entretien et de nourrissage à effectuer, chaque enseignante a choisi l'espèce d'animal qu'elle souhaitait élever dans sa classe.

Contexte de réalisation des dessins

La position au sein de la séquence de la production de ces dessins correspond à deux intentions didactiques complémentaires dans une démarche d'investigation. La réalisation d'un DR[69] contribue à impliquer les élèves dans le thème travaillé. Ensuite, la comparaison effectuée entre ces dessins par les élèves permet de matérialiser les questions que l'on peut se poser à propos du corps et du développement de cet animal. Cette phase de questionnement s'apparente à la mise au jour des hypothèses quant aux caractéristiques morphologiques de ces animaux.

La réalisation d'un DO, au cœur de la séquence, est relative à une démarche de recherche qui construit des compétences d'observation et apportera des réponses aux questions initiales posées par les élèves.

Le dispositif proposé dans chaque classe est construit autour de 3 phases.

Phase 1 : Apprendre à dessiner l'animal en observant toutes les parties de son corps.

« On va faire un dessin où l'on observe l'animal, tel qu'il est. On ne fait pas un dessin imaginaire. Comme les scientifiques, on utilise un crayon à papier et une gomme. »

Chaque élève dessine. Il décrit ce qu'il dessine, nomme les parties du corps, les désigne sur l'animal.

Phase 2 : Observation et comparaison des dessins

Phase 3 : S'entraîner à dessiner des parties du corps de l'animal avant de faire le dessin final que chacun réalise à nouveau.

L'enseignant peut dessiner face aux élèves, en verbalisant pour que les enfants dessinent en même temps.

[69] Consigne donnée par les enseignantes pour la production des dessins de représentation : « Dessine l'animal comme tu l'imagines. Dessine toutes les parties du corps de l'animal sur la feuille pour qu'on le voie bien. A côté, dessine le petit de l'animal. ».

« Pour avoir un dessin d'observation réussi, ils doivent, à la fin, tous se ressembler, c'est-à-dire avoir les mêmes parties du corps dessinées. »

Contextes de comparaison des dessins

Dans chaque classe, l'enseignante installe les DR et les DO devant les élèves, ils servent de support aux comparaisons[70]. L'enseignante sollicite les élèves pour comparer et caractériser les DR entre eux, puis les DO entre eux, et enfin pour comparer les DR avec les DO.

La discussion proposée par les enseignantes est construite autour de deux questions :

> 1) « Est-ce que vos dessins de représentations se ressemblent ? si oui, pourquoi ? si non, pourquoi ? »
>
> 2) « Est-ce que vos dessins d'observation sont réussis ? Comment vous le savez ? »

Les dispositifs pédagogiques sont variables selon la classe : classe scindée en 3 groupes multi-âges (escargots) ; classe scindée en 3 groupes d'âges (coccinelles) ou classe entière (canetons et papillons). Ces variables ne sont pas contrôlées dans notre protocole, elles contribuent, en plus de l'effet maître, à un effet classe intervenant dans les résultats obtenus (Bressoux, 1994).

Données recueillies et analysées

Trois corpus complémentaires sont donc recueillis puis analysés : les dessins de représentation (DR) des animaux impliqués dans l'élevage, (2) les dessins d'observation (DO), et (3) les enregistrements des échanges à l'oral pour caractériser et différencier chaque dessin. Des critères d'analyses classiques des éléments dessinés par rapport au réel sont utilisés : présence, position relative et forme des parties du corps de l'animal.

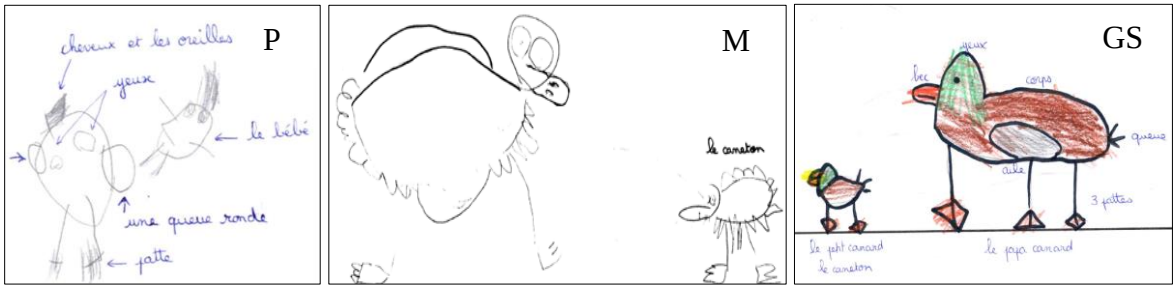
[70] Consigne : « J'ai affiché les premiers dessins que vous aviez fait sur les [canards / papillons / escargots / coccinelles], comme vous les imaginez ; et ensuite vos dessins d'observation, c'est-à-dire les dessins que vous avez fait en regardant les [canards / papillons / escargots / coccinelles]. Qu'est-ce que vous pouvez dire si vous comparez les dessins ? Comparer ça veut dire ce qui est pareil et ce qui n'est pas pareil. »

Par ailleurs, les échanges entre élèves, lorsqu'ils sont confrontés à leur DR et à leur DO, sont analysés afin d'établir ce que les élèves perçoivent des caractéristiques et des fonctions de ces deux écrits figuratifs. Pour cela, nous relèverons les justifications des élèves quant aux ressemblances ou différences identifiées entre DR et DO d'une part, et entre DO et animal réel d'autre part.

Résultats

Les dessins de représentation (DR)

Les enseignantes ont demandé aux élèves de dessiner l'animal (le canard, la coccinelle, l'escargot ou le papillon selon la classe) comme ils l'imaginent ainsi que le bébé de cet animal. Les DR ont été annotés selon ce qui a été nommé par les élèves. Afin d'illustrer les résultats, nous proposons un exemple par âge dans chaque classe, en commençant par les animaux à développement direct (canard et escargot) et en poursuivant avec les animaux à développement indirect (papillon et coccinelle).



PS : nez, cheveux et les oreilles, yeux, une queue ronde, pattes, le bébé.

MS : Ils ont des plumes, des pattes, deux ailes pour la maman mais le bébé n'a pas encore d'ailes. Ils ont un bec rond. Ils ont deux yeux. Le caneton vient de naître et la maman est très heureuse.

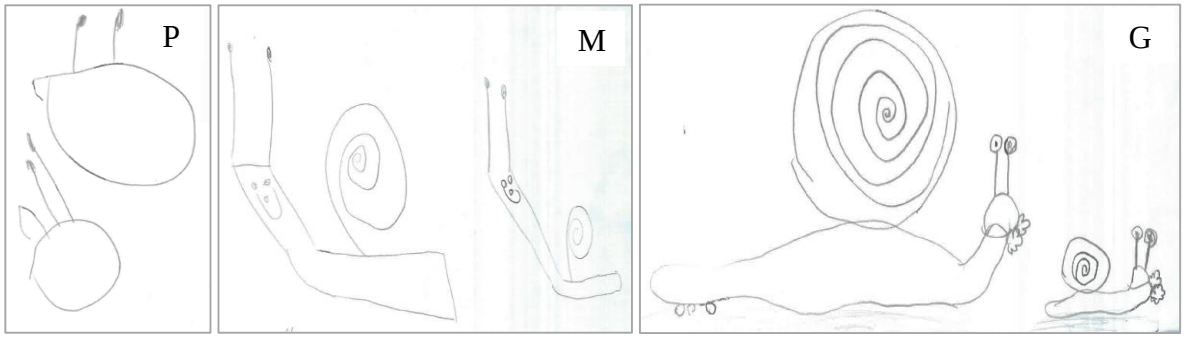
GS : Le petit canard, le caneton. Le papa canard, bec, yeux, corps, aile, trois pattes, queue.

Figure n°2 : Dessins de représentation (DR) du canard et *description orale* par les élèves.

Le lexique scientifique pour décrire cet animal est déjà conséquent (ailes, bec, tête, pattes palmées, plumes, yeux, corps, queue…). La présence de lexique humain est plus marquée pour les plus jeunes élèves (cheveux, oreille, nez…). La majorité des dessins illustre un développement direct (même si parfois les petits n'ont pas d'ailes, comme sur l'exemple du dessin de MS).

Le lexique scientifique est relativement complet même s'il est erroné (antennes, yeux, bouche, coquille, corps, bave, nez…) ; celui-ci est plus riche pour les élèves les plus âgés.

Des éléments anthropomorphiques sont visibles (bouche, yeux et nez) sur certains dessins (exemple du dessin de MS). Pour ces dessins comme pour ceux du canard, tous les élèves représentent un développement direct : le bébé escargot est un adulte en miniature.

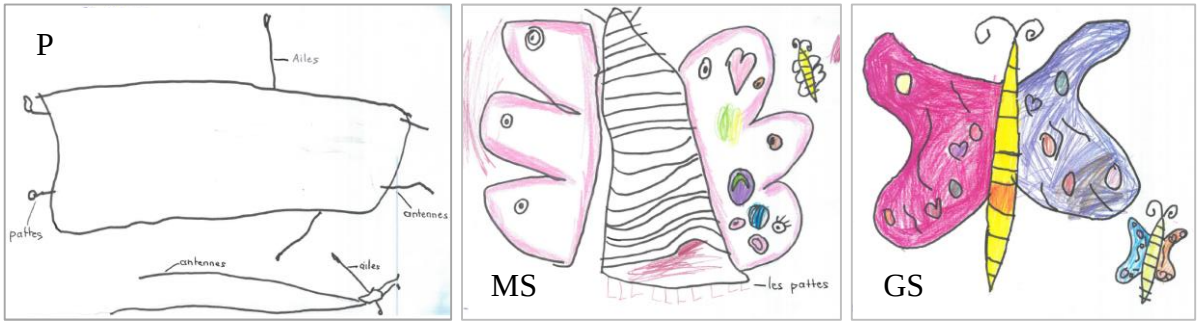


PS : Il a deux yeux au bout des antennes.

MS : L'escargot a deux yeux, un nez et une bouche.

GS : Il a les yeux sur les antennes. Il a de la bave sous son corps pour avancer.

Figure n°3 : Dessins de représentation (DR) de l'escargot et *description orale* par les élèves.



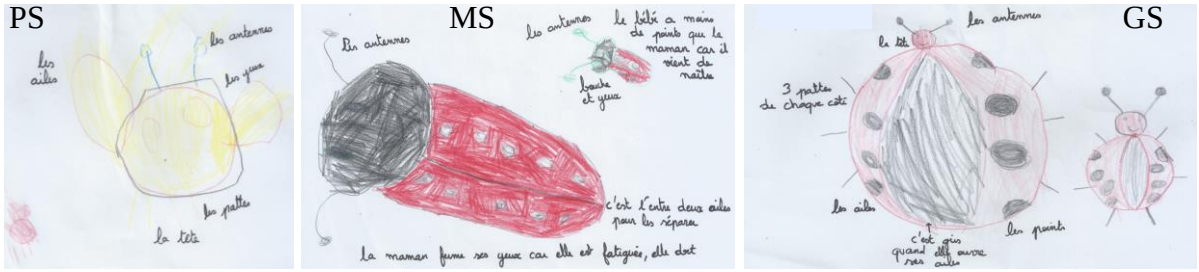
PS : ailes, antennes, pattes.

MS : les pattes.

Figure n°4 : Dessins de représentation (DR) du papillon et *description orale* par les élèves.

Concernant les papillons, les DR sont tous très colorés (stéréotype du papillon diurne). Dès la MS, le corps est en général allongé et les ailes occupent un espace important. Les pattes ne sont pas toujours présentes (seulement 4/20), contrairement aux ailes qui caractérisent tous les dessins (20/20) et aux antennes présentes sur la majorité d'entre eux (19/20). Tous les élèves pensent qu'il s'agit d'un développement direct, le bébé est un adulte en miniature.

Pour les coccinelles, le lexique est globalement de plus en plus riche en fonction de l'âge. On peut noter que certains élèves ont déjà eu l'expérience d'une observation fine de l'animal (cf. exemple du MS). Tous les élèves pensent qu'il s'agit d'un développement direct, avec cependant un bébé qui a moins de points que l'adulte.



PS : les ailes, la tête, les antennes, les yeux, les pattes.

MS : les antennes, c'est l'entre deux ailes pour les séparer. La maman ferme les yeux car elle est fatiguée, elle dort. Les antennes, bouche et yeux. Le bébé a moins de points que la maman car il vient de naître.

GS : les antennes, la tête, 3 pattes de chaque côté, les ailes, les points, c'est gris quand elle ouvre ses ailes.

Figure n°5 : Dessins de représentation (DR) de la coccinelle et *description orale* par les élèves.

Les dessins d'observation (DO)

Les DO sont comparés aux DR, animal par animal, afin de visualiser les éléments ajoutés et les tracés plus précis. Quelques dessins sont présentés afin d'illustrer la description et l'analyse.

Figure n°6 : Dessins d'observation (DO) d'élèves de GS (canard et escargot).

Concernant les DO des canetons, on note une plus grande précision du tracé sur la forme du bec et la présence de pattes palmées. De plus, les élèves ont pu choisir de dessiner l'un des deux canetons, et l'individu est reconnaissable sur leur dessin (plumage différent). En revanche, tous les éléments du corps étaient déjà présents sur les DR ce qui entraine l'absence de progression marquée entre DR et DO. Par ailleurs, le soin du tracé est souvent en régression entre le DR et le DO.

Pour les DO de l'escargot, la jonction entre la coquille et le pied est plus fidèle que sur les DR. De plus, tous les DO présentent 4 tentacules (20/20) alors que c'est seulement de cas de 4 DR (4/21). Des termes nouveaux apparaissent lors de la description de l'animal et du

dessin : pied, tentacule. Sur les DO, tous les MS et GS dessinent le pied (16/16) contrairement aux PS (1/4) qui se focalisent sur la coquille et les 4 tentacules.

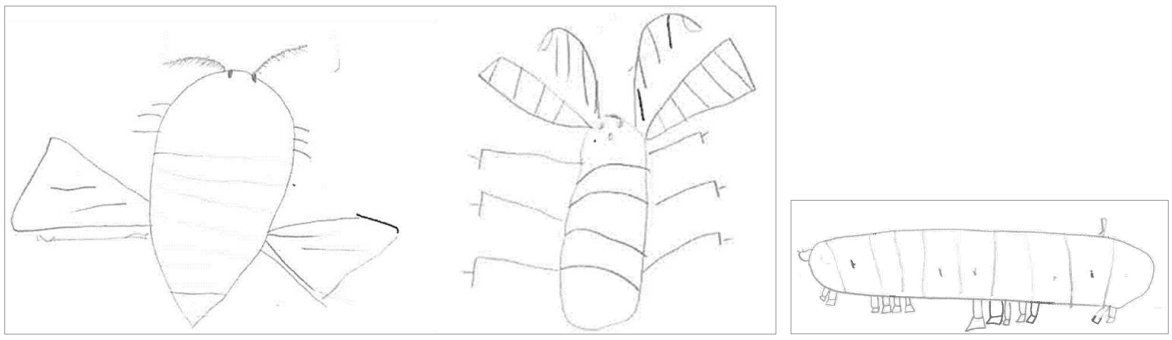


Figure n°7 : Dessins d'observation (DO) d'élèves de GS (bombyx du murier et ver à soie).

Dans cette classe, tous les élèves ont progressé sur la précision du tracé de la forme des ailes et du corps du bombyx du murier ainsi que sur la proportion entre ces différentes parties. On note également une focalisation sur la forme des antennes représentées sous forme de peigne (13/14) et plus seulement par un trait comme dans les DR. De plus, 6 pattes sont présentes sur la plupart des DO (12/14). Les élèves ont également dessiné la chenille.

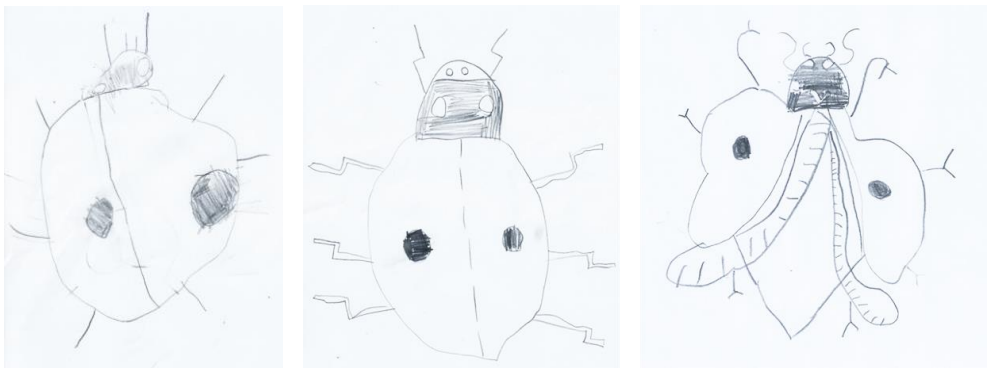


Figure n°8 : Dessins d'observation de la coccinelle pour un PS et deux MS.

Concernant les coccinelles, si la forme générale du corps était déjà ressemblante dans la moitié des DR (10/18, cf. figure n°5), elle le devient pour tous les DO (21/21), y compris pour les élèves de PS. On note également que le nombre de pattes est correct dans la majorité des DO (20/21) alors que ce n'était le cas que de quelques DR (5/18). Enfin, la présence de 2 antennes devient majoritaire (7/18 DR puis 20/21 DO).

La précision du tracé s'est affinée dans certains DO, en représentant des pattes articulées (cf. exemple du MS ; figure n°8), des antennes articulées, et une proportion plus fidèle entre la tête et le corps de la coccinelle. Enfin, si presque toutes les coccinelles (17/19) avaient de nombreux points sur les DR (17 points en moyenne), tous les élèves dessinent précisément deux points sur les élytres de leur coccinelle représentée en vue de dessus (21/21 DO), ce qui correspond à l'espèce effectivement observée.

En guise de synthèse, lorsque l'on compare les DO aux DR :

- le nombre d'éléments dessinés augmente entre les deux types de dessins, davantage pour certains animaux (escargot, coccinelle, papillon) que pour d'autres (caneton avec un DR souvent déjà complet). Par exemple, pour les escargots, tous âges confondus, on passe de 2.7 à 4.2 éléments dessinés en moyenne par dessin.
- le DO perd certaines caractéristiques anthropomorphiques (bouche, nez, sourire, cheveux…) au profit de ressemblance plus marquée avec le réel. Certains dessins permettent même d'identifier l'individu dessiné (cas des canetons), ce qui correspond à l'objectif d'un dessin d'observation de haut niveau.
- le DO s'éloigne d'un stéréotype visible dans les DR pour se rapprocher de la forme de l'espèce présente dans l'élevage (coccinelle à 2 points, corps et ailes blanches du bombyx notamment) avec une focalisation sur certains éléments (forme des antennes, forme du corps et des ailes, forme du bec, proportion entre la tête et le corps).
- parallèlement aux progrès dans le dessin, le lexique scientifique utilisé pour nommer les différentes parties du corps augmente et gagne en précision de la PS à la GS.
- l'acquisition de ces compétences graphiques et orales sont visibles dès les élèves de PS.

Ces résultats semblent conformes au contrat didactique et aux apprentissages visés, ils témoignent de progrès plus ou moins prononcés selon le niveau de connaissance initial de l'animal. Le DO permet, dès la petite section de maternelle (en fin d'année), de se focaliser sur certains éléments du corps de l'animal et de les retranscrire sous forme écrite. Cet écrit

graphique constitue un support pour mobiliser le lexique scientifique et développer la conduite discursive descriptive.

Oral réflexif autour des caractéristiques des DR et des DO

Les dessins, en tant qu'écrits graphiques, constituent des supports pour mobiliser un oral réflexif (Dupont et Grandaty, 2012). Afin d'illustrer la dimension épistémologique des dessins (Delserieys, Fragkiadaki et Kampeza, 2021), nous présentons quelques extraits de discussion entre les élèves relatifs aux caractéristiques des deux types de dessins. Nous cherchons à identifier, dans le discours des élèves, les critères qu'ils utilisent pour définir et différencier les deux types de dessins, dans leur production et dans l'interprétation qu'ils font de leurs écrits (Delserieys et Kampeza, 2020, p. 97).

Extrait 1. Groupe 1 multi-âge de la classe « escargot », propos d'un élève de GS.

« Pour le premier dessin, il manque des choses comme les tentacules. Les dessins ne se ressemblent pas : parfois il y a quatre, deux ou zéro tentacule. On n'avait pas les escargots sous les yeux.

Le deuxième dessin est mieux fait parce qu'on avait les escargots sous les yeux. C'était le modèle. Ils ont tous quatre tentacules, une coquille, un pied. Ils se ressemblent. »

Cet extrait témoigne de l'identification d'une différence de dispositif lors de la réalisation de chaque dessin : avoir ou non l'escargot « sous les yeux ». L'élève attribue à l'animal la fonction de *modèle* unique, garant de plus de ressemblance entre les DO qu'entre les DR.

Extrait 2. Classe « papillon », propos d'une élève de GS.

« En vrai, si on veut un dessin d'observation, si on a envie d'en faire un, et ben on le fait comme le modèle ! Et le modèle là, c'était un vivant, c'était un papillon et il était tout blanc, alors nous on va en faire un tout blanc. »

Lors des échanges, certains élèves identifient que les critères communs des DO (pattes, forme des ailes, couleur, antennes en forme de peigne, position des yeux, trompe) sont relatifs aux papillons que l'on a observé dans la classe. Dans cette classe émerge également le fait que l'animal est le *modèle* que l'on a tous pour réaliser notre dessin.

Extrait 3. Synthèse des échanges dans la classe « canetons »

Comme dans le groupe précédent, les élèves identifient d'abord les différences entre leurs DR. Lorsque l'enseignante demande pourquoi ces dessins ne se ressemblent pas, une élève de GS répond « *parce qu'on a pas la même imagination* ». En revanche, en comparant leurs

DO, les élèves vont rester tout au long des échanges sur les différences entre les dessins, ils ne parviendront pas à établir qu'ils se ressemblent plus entre eux que les DR.

Extrait 4. Synthèse des échanges dans les groupes d'âges de la classe « coccinelle »

Là aussi, les élèves se focalisent d'abord sur les différences entre leurs dessins, que ce soit pour les DR ou les DO. Lorsque l'enseignante demande pourquoi leurs DR ne se ressemblent pas, un élève de GS répond « *parce que en fait on a imaginé de faire pas les mêmes* ». Au fur et à mesure des échanges et par l'étayage de l'enseignante, des élèves parviennent à dire que le dessin de représentation se réalise à partir « *d'un modèle que l'on a dans la tête, dans notre esprit* » (en GS) alors que la consigne pour le dessin d'observation c'est « *d'essayer de recopier les coccinelles* » (en MS).

Dans les échanges à propos des dessins de coccinelle, les élèves utilisent également le terme de *modèle* et opposent « *ce que l'on a dans notre tête* », « *ce que l'on imagine* » à l'animal présent dans la classe.

Le contenu des discussions montre la difficulté pour les élèves à s'appuyer sur les points communs dès lors que la forme de leurs écrits graphiques diffère, y compris dans de menus détails. Ces oraux réflexifs témoignent du caractère subjectif des ressemblances et différences qui préoccupent les élèves durant une bonne partie de la discussion dans les quatre classes. A l'aide de l'étayage des enseignantes[71], les élèves parviennent à différencier les DR des DO en relevant que le *modèle* n'est pas le même dans les deux cas. Il s'agit soit d'une image mentale - *l'imagination* -, soit de l'animal lui-même.

[71] L'étayage consiste essentiellement à recentrer les élèves sur les points communs, notamment entre les DO, lorsqu'ils restent focalisés sur toutes les différences, même minimes à nos yeux, entre les dessins. Il s'agit aussi de (re)préciser à chaque étape ce qui est comparé : DR entre eux, DO entre eux, DR et DO en rapport à l'animal observé.

Discussion

Caractériser et différencier dessin de représentation et dessin d'observation

Les DR de certains animaux (papillons et coccinelles) s'inscrivent dans une forme stéréotypée nourrie par différents médias qui mobilisent cet animal (albums de littérature jeunesse, documentaires, dessins animés, etc.). Ces stéréotypes de forme se retrouvent dans plusieurs dessins d'élèves, c'est une limite classique d'un travail écrit demandé pour un groupe d'élèves installés à la même table. Certains élèves vont se rassurer en copiant sur le dessin de leur camarade de proximité ce qui peut conduire à réduire les différences entre ces dessins.

Les élèves de maternelle parviennent collectivement à discuter de la dimension épistémologique des dessins en proposant une caractéristique saillante de chaque type de dessin : l'imagination comme support du DR et l'animal réel comme modèle à recopier pour le DO (Delserieys, Fragkiadaki et Kampeza, 2021 ; Chalmeau et Chalmeau, 2023). Pour eux, le DR est produit à partir de leur « *imagination* », de « *ce que l'on a dans la tête* », « *dans son esprit* » alors que le DO est une copie du *modèle* de l'animal que l'on a sous les yeux. Ces éléments formulés par les élèves rejoignent la distinction réalisée par Picard et Zarhbouch (2014, p. 29) lorsqu'elles indiquent que « l'approche commune contemporaine considère que le dessin sert à représenter ce qui est vu, soit directement des yeux, soit par les yeux de l'esprit ».

Les dessins constituent des supports pertinents pour discuter du réel et de sa représentation graphique. L'oral réflexif, dans notre dispositif, consiste pour les élèves à mesurer la différence et accepter la ressemblance entre leurs dessins (Bucheton et Chabanne, 2002). Les élèves s'engagent diversement dans cet oral réflexif, avec pour la plupart des PS des propos limités à l'énonciation des différences visibles (taille, couleur, éléments du corps…) et les plus âgés qui commencent à formuler des justifications de leurs propos (MS et GS). Les oraux réflexifs analysés correspondent aux trois premiers niveaux (repérage,

identification, expérimentation) sur les quatre[72] proposés par Dupont et Grandaty (2012). Nous n'avons pas envisagé de formalisation (4ème niveau) réalisée par les élèves, mais une conclusion orale énoncée par l'enseignante en guise de structuration.

La réalisation d'un dessin comme contribution à la démarche d'observation

Les élèves retiennent le fait que l'animal réel représente un *modèle* qu'il faut *recopier* pour réussir son DO. Par ailleurs, ils relèvent également le fait d'utiliser un crayon de papier et une gomme pour réaliser le DO à la différence des DR. Le critère de réussite, qui consiste à dessiner un animal réel avec le plus de ressemblance possible, est donc conscientisé par les élèves. On pourrait rapprocher la fonction que les élèves attribuent au DO de celle de Luquet (1967) affirmant que « le dessin est un ensemble de traits dont l'exécution a été déterminée par l'intention de représenter un objet réel, que la ressemblance cherchée soit ou non obtenue » (p. 109). Pour lui, le dessin est figuratif car il « a pour rôle essentiel de représenter quelque chose », et réaliste « parce qu'il consiste dans la traduction graphique des caractères visuels de l'objet représenté » (p. 99-100).

Les élèves progressent dans l'observation en focalisant sur des éléments retranscrits dans leurs dessins et en effectuant des allers et retours productifs[73] entre le tracé et le réel (Guichard, 1998). De plus, l'intégration des tâches d'observation dans un contexte d'interactions sociales entre élèves favorise la construction de compétences d'observation (Johnston, 2009). Cet apprentissage va notamment s'appuyer sur la comparaison visuelle des tracés entre eux (les différentes productions des élèves sur la même table), la comparaison visuelle entre les tracés et l'animal, ainsi que sur la production d'un oral descriptif mobilisé dans le repérage et l'identification des éléments dessinés et à dessiner (Dupont et Grandaty, 2012). Le fait de pouvoir toucher et manipuler l'animal à observer est

[72] Le cinquième niveau proposé, la textualisation, n'a été observé par les auteurs que pour les élèves des cycles 2 et 3.

[73] Les enseignantes, au cours de la réalisation du dessin d'observation, questionnent chaque élève pour qu'il décrive ce qu'il est en train de dessiner et qu'il le désigne et le nomme également sur l'animal.

aussi un facteur favorisant ces apprentissages impliqués dans l'observation (Tomkins et Tunnicliffe, 2007) dès lors que l'oral descriptif est mobilisé, notamment sur les différentes parties du corps et leur forme. Les élèves vont acquérir une certaine « fluence graphique par un apprentissage et la disponibilité de modèles graphiques à imiter », ici l'animal réel et les dessins des camarades (Picard et Zarhbouch, 2014, p. 34).

Limites de l'étude et implications pour la formation des enseignants

Malgré une séquence pédagogique commune, certaines variables non contrôlées, telles que « l'effet maître » et « l'effet classe », ont pu contribuer à des différences dans les modalités de recueil des données analysées (Bressoux, 1994). En effet, les gestes professionnels peuvent être différents selon l'enseignante et jouer un rôle sur la conduite des discussions entre élèves (type de relances notamment). D'autre part, certaines enseignantes ont réalisé les ateliers en groupes multi-âges alors que d'autres classes sont organisées en groupe d'âges. De plus, dans chaque classe, la diversité et le choix des albums documentaires et de fictions réalistes utilisés au cours de la séquence sont aussi des éléments qui peuvent contribuer à la construction d'une image mentale de l'animal. Enfin, nous n'avons pas enregistré ni analysé les interactions professeur-élève et/ou élève-élève lors de la réalisation des DO, ce qui nous manque pour pouvoir déterminer les éléments de contrat, de milieu et les éléments de régulation apportés par l'enseignant lors de cette production graphique.

Du point de vue de la formation des enseignants, nous pouvons proposer quelques conseils à partir de cette recherche. Il nous semble primordial avec les élèves de maternelle de privilégier une démarche d'observation « pas-à-pas », en observant et décrivant chaque partie du corps pour focaliser l'observation, ce qui permet d'éduquer le regard des élèves. Le travail de description orale, des parties du corps de l'animal et des tracés réalisés, parait nécessaire à la réalisation d'un DO. Il est difficile, surtout pour les élèves de petite section, de réaliser un DO en prenant des indices sur l'animal réel, sans accompagnement, verbalisation et étayage de l'enseignant. Cet apprentissage du DO s'inscrit dans une démarche itérative.

Enfin, les moments de discussion qui mobilisent l'oral réflexif sur la comparaison des dessins permettent d'entrer avec les élèves dans un apprentissage métalinguistique en percevant un certain registre de subjectivité dans les ressemblances et différences (Bucheton

et Chabanne, 2002). Cet oral réflexif s'appuie sur le lexique scientifique et conscientise les progrès réalisés dans l'observation et dans l'écrit graphique produit.

Conclusion

L'élevage d'animaux en classe et les apports documentaires associés, en proposant aux élèves de mobiliser des compétences d'observation, constituent une source de découverte et de focalisation sur une diversité de formes et d'espèces. Le dessin d'observation s'apprend : un élève ne peut pas le réaliser seul. En termes de prolongement de recherche, l'analyse des interactions verbales entre enseignants et élèves lors de la production des dessins d'observation pourrait apporter des enseignements supplémentaires pour la formation des professeurs des écoles. Néanmoins, la description orale de l'animal et du dessin semble être une étape essentielle de l'apprentissage pour focaliser et diriger le regard. Enseigner l'observation et sa transcription par un dessin permet de passer d'un écrit subjectif (dessin de représentation) à un écrit plus objectif (dessin d'observation).

La réflexion sur les dessins permet à certains élèves de prendre conscience de leurs progrès résultant d'une observation fine d'un animal. Celle-ci s'appuie sur l'utilisation d'un lexique scientifique mobilisé à de nombreuses reprises. Pour poursuivre cette étude, un dispositif permettant un suivi individuel lors de la discussion sur la comparaison des dessins entre eux et avec l'animal pourrait apporter des éléments plus fins à l'analyse en termes d'apprentissage et de compréhension individuelle. Nous pouvons cependant conclure sur la possibilité, pour certains élèves, d'entrer dans une première caractérisation du dessin de représentation comparé au dessin d'observation. Les fonctions didactiques, épistémologiques et cognitives du dessin d'observation semblent mobilisables dès la maternelle (Delserieys, Fragkiadaki et Kampeza, 2021) et contribuent à la construction d'un raisonnement scientifique et, plus largement, à une première éducation scientifique à l'école maternelle (Ledrapier, 2010). Le dessin est alors un langage graphique, une aide à penser en sciences (Picard et Zarhbouch, 2014).

Bibliographie

Ainsworth, S., Prain, V. et Tyler, R. (2011). Drawing to Learn in Science. *Science*, 333(6046), 1096-1097.

Astolfi, J.-P. (1984). L'analyse des représentations des élèves en sciences expérimentales : voie d'une différenciation de la pédagogie. *Revue française de pédagogie*, 68, 15-25.

Baldy, R. (2005). Dessin et développement cognitif. *Enfance,* 57(1), 34-44.

Bisault, J. (2005). Langage, action et apprentissage en sciences à l'école maternelle. *Spirale*, 36, 123-138.

Bisault, J., et Lhoste, Y. (2020). Quelle éducation scientifique et technologique pour des élèves de 2 à 6 ans ? *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (22), 13-30.

Bressoux, P. (1994). Les recherches sur les effets-écoles et les effets-maîtres. *Revue française de pédagogie*, 108, 91-137.

Bucheton, D., et Chabanne, J. C. (2002). *Parler et écrire pour penser, apprendre et se construire : L'écrit et l'oral réflexifs*. Presses universitaires de France.

Calmettes, B. (2000). Les dessins d'observation dans les premières phases d'étude d'objets et de phénomènes. *Aster*, 31, 217-243.

Chalmeau, R., et Verdugo De la Fuente, L. (2021). Apprendre à schématiser une expérience à l'école maternelle. *Grand N*, 107, 79-105.

Chalmeau, R., et Chalmeau, S. (2023). Du dessin de représentation au dessin d'observation pour découvrir le vivant à l'école maternelle. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 27, 103-130.

Charles, F. (2015). Les rencontres des enfants avec le vivant à l'école maternelle. *SHS Web of Conferences*, 21, p. 03003. EDP Sciences.

Charles, F. (2020). Pratiques enseignantes en éducation scientifique et technologique à l'école maternelle : Perspectives curriculaires. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 21, 21-44.

Charles, F. (éds). (2021). *Graines de scientifiques en maternelle. Explorer le monde du vivant, des objets et de la matière*. UGA éditions.

Coquidé, M. (2015). « Se sentir vivant » : quels enjeux d'éducation biologique ? *SHS Web of Conferences*, 21, p. 03001. EDP Sciences.

Dell'Angelo-Sauvage, M., Simard, C., Coquidé, M., et de Montgolfier, S. (2014). Enseignements relatifs aux vivants : quelles valeurs, quelles missions et quels moyens des enseignants ? In Bernard, M.-C., Savard, A., et Beaucher, C. (dir.). *Le rapport aux savoirs : une clé pour analyser les épistémologies enseignantes et les pratiques de classe* (p. 135-153). CRIRES.

Delserieys, A., et Kampeza, M. (2020). Le dessin comme outil d'enseignement-apprentissage en sciences à l'école maternelle. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 22, 93-122.

Delserieys, A., Fragkiadaki, G., et Kampeza, M. (2021). Dessiner et faire comprendre la formation des ombres. In F. Charles (Ed.), *Graines de scientifiques en maternelle : Explorer le monde du vivant, des objets et la matière*, pp. 97-118. EDP Sciences.

Dempsey, B. C., et Betz, B. J. (2001). Biological Drawing: A Scientific Tool for Learning. *The American Biology Teacher*, 63(4), 271-279.

Desgagné, S. (1997). Le concept de recherche collaborative : l'idée d'un rapprochement entre chercheurs universitaires et praticiens enseignants. *Revue des sciences de l'éducation*, 23(2), 371-393.

Dupont, P., et Grandaty, M. (2012). Littératie à l'école maternelle : les écrits et oraux réflexifs. *Lettrure*, 2, 50-65.

Fillon, P., et Vérin, A. (2001). Ecrire pour comprendre les sciences. *Aster*, 33, 3-16.

Fox, J. E., et Lee, J. (2013). When children draw vs when children don't: Exploring the effects of observational drawing in science. *Creative Education*, 4(7), 11-14.

Giordan, A., et De Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Delachaux et Nestlé.

Guichard, J. (1998). *Observer pour comprendre les sciences de la vie et de la Terre*. Paris : Hachette.

Host, V. (1980). Les opérations intellectuelles en activités d'éveil scientifique. *Repères. Recherches en didactique du français langue maternelle*, 58(1), 6-12.

Jiménez-Aleixandre, M. P. (2022,15-18 nov.). La connaissance épistémique et son rôle dans l'éducation scientifique aujourd'hui. Conférence lors des XIIèmes rencontres scientifiques de l'Ardist, Université Jean Jaurès, Toulouse.

Johnston, J. S. (2009). What Does the Skill of Observation Look Like in Young Children? *International Journal of Science Education*, 31(18), 2511-2525.

Ledrapier, C. (2010). Découvrir le monde des sciences à l'école maternelle : quels rapports avec les sciences ? *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 2, 79-102.

Luquet, G. H. (1967). *Le dessin enfantin*. Neuchatel, Paris : Delachaux et Niestlé. (1927, première édition).

Orange, C., et Orange Ravachol, D. (2013). Le concept de représentation en didactique des sciences : sa nécessaire composante épistémologique et ses conséquences. *Recherches en éducation*, 17, 46-61.

Osborne, J. (2002). Science without literacy: A ship without a sail?. *Cambridge Journal of Education*, 32(2), 203-218.

Picard, D., et Zarhbouch, B. (2014). Le dessin comme langage graphique. *Approches, Revue des Sciences Humaines*, 14, 28-40.

Plé, É., et Dedieu, L. (2020). Les « écrits instrumentaux » en éducation scientifique à l'école maternelle : du possible à la mise en œuvre dans les pratiques enseignantes. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 22, 123-149.

Ravanis, K. (2010). Représentations, Modèles Précurseurs, Objectifs-Obstacles et Médiation-Tutelle : concepts-clés pour la construction des connaissances du monde physique à l'âge de 5-7 ans. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 5(2), 1-11.

Tomkins, S., et Tunnicliffe, S. D. (2007). Nature tables: stimulating children's. *Journal of Biological Education*, 41(4), 150-155.

Questionner les représentations de la forêt et les expériences de nature chez des élèves de cycle 3

Léna Jean-Yves, Chalmeau Raphaël, Julien Marie-Pierre
UMR Géode, INSPE Toulouse Occitanie Pyrénées, UT2J – France
Ce travail a été financé par le labex Driihm[74] – OHM Haut Vicdessos - Pyrénées

Résumé

Nous étudions dans cette recherche les représentations de la forêt et les expériences de nature par des élèves de cycle 3. L'analyse de dessins et de réponses à un questionnaire réalisés avant et après l'expérience de nature révèle des représentations stables et partagées sur les dimensions écologiques et sociales de la forêt. Néanmoins, l'étude de traces écrites lors d'une activité d'immersion en forêt rend compte d'une possible évolution de ces représentations. La place du corps en action et du langage dans ces situations expérientielles paraissent fondamentales.

[74] https://www.driihm.fr/, Dispositif de Recherche Interdisciplinaire sur les Interactions Hommes-Milieux, regroupe les Observatoires Hommes-Milieux (OHM, au nombre de 13[1]), outils créés par le CNRS-INEE en 2007.

Introduction

Près d'un quart de la superficie terrestre de notre planète est recouverte de forêts. Il est assez courant que le paysage ordinaire des élèves européens possède un motif forestier. Cependant, la forêt, en tant que milieu d'étude, est quasiment absent du curriculum actuel, que ce soit dans les programmes de l'école comme dans les documents Eduscol (une occurrence en cycle 1, deux en cycle 2 et une en cycle 3). Cette « invisibilité » interroge, car la forêt est malgré tout régulièrement étudiée en tant qu'écosystème notamment dans ses dimensions biologiques et écologiques. Par ailleurs, la forêt constitue un environnement habituel de sortie pour les élèves, notamment de maternelle, ce qui peut leur permettre de « vivre la nature » (Coquidé, 2019, p. 53). L'opération « À l'École de la Forêt » créée par les Ministères de l'Agriculture et de l'Éducation Nationale en 1991 a rencontré un vif succès auprès des enseignants : environ 1300 écoles participent chaque année, de 1997 à 2010 (Clément, 2007). Pour les ministères, il s'agissait de « mettre en place des opérations de coopération éducative dont le but sera de sensibiliser et d'informer les enseignants et les élèves de l'école primaire à la protection et à la gestion de la forêt ».

Cadre théorique

L'expérience de nature

La relation à la nature bénéficie ces dernières années, d'un regain d'attention dans le champ des sciences de l'environnement, de la philosophie et de l'anthropologie. Pour Morizot (2017), c'est la relation aux autres vivants qu'il faut travailler alors que pour Descola (2005), la focale est mise sur les caractéristiques des ontologies entre les humains et les non humains. Si les dimensions cognitives restent des objectifs importants en éducation à l'environnement, les dimensions affectives et émotionnelles contribuent elles aussi à construire une relation avec l'environnement en proposant une expérience de nature. Des psychologues de l'environnement ont observé que le fait de raréfier les rencontres directes avec la nature aboutit à des formes d'amnésie de celle-ci (Kahn, 2002). Et parallèlement, nos conditions de vie moderne conduisent chaque individu à un éloignement de la nature, ce qui provoque une « extinction d'expérience de nature » selon la formule de Pyle (1978). Une des réponses possibles à ces constats préoccupants est de développer des expériences de nature dans le territoire (Prévot et Fleury, 2017).

Quasiment inconnu dans les programmes scolaires, peu mobilisée dans les pratiques enseignantes, l'expérience de nature mérite de la part du monde de l'éducation une attention plus grande ; et lui associer des fondements théoriques spécifiques (approches phénoménologique, holistique et psychologique) peut permettre d'opérationnaliser et de réinterroger les relations Hommes – Nature (Léna, 2021). L'expérience de nature est de fait, comme toute expérience humaine, multidimensionnelle, selon Bourgeois (2013) s'appuyant sur Dewey : cognitive, affective, conative (action) et corporelle. Ces dimensions sont interdépendantes et interactives. Ainsi, l'expérience mobilise deux composantes indissociables : une composante active, l'action du sujet sur le monde et une composante passive, « l'éprouvé » du monde sur le sujet et la réalisation d'une connexion/réflexion entre les deux composantes. Ces approches sensorielles, affectives et émotionnelles constituent des leviers pour mobiliser des connaissances scientifiques et construire une relation à l'environnement (Dewey, 2012 ; Pruneau et Lapointe, 2002).

Perceptions et représentations au sujet de la forêt

La perception, concept polysémique, est un processus par lequel l'esprit se représente un objet, un phénomène en sa présence, en lien avec des savoirs sensoriels ou sensibles (Bédard, 2016). L'approche phénoménologique de la perception replace le corps au centre du processus, le corps sentant qui est également le corps senti, devient « corps-conscience » et « corps-connaissance » (Merleau-Ponty, 2010). Ainsi la perception se nourrit des représentations et les combine aux dimensions expérientielle, sensible et sensorielle (Soilihi et al., 2018). Elle n'est pas « coïncidence avec les choses mais interprétation » (Le Breton, 2015). Selon la théorie de l'énaction (Varela et al, 2017), plusieurs phases successives de la perception peuvent être distinguées : le contact, (2) le sentiment d'agrément ou de désagrément, (3) le discernement intellectuel, (4) l'intention ou la réaction vis-à-vis de ce qui a été discerné, et (5) l'attention portée à cela qui a été senti, jugé, discerné, manipulé.

La représentation, elle, est « le produit et le processus d'une activité mentale par laquelle un individu ou un groupe reconstitue le réel auquel il est confronté et lui attribue une signification spécifique » (Abric, 1987, p. 64). Elle se réalise donc en l'absence de l'objet contrairement à la perception. Les représentations sont dites « sociales » lorsqu'elles sont partagées au sein d'un groupe social ou par l'ensemble de la société (Moscovici, 1961).

Par ailleurs, « le concept de représentation a eu une place majeure dans le développement de la didactique des sciences et fait donc partie de son cadre conceptuel » (Orange et Orange

Ravachol, 2013). La forêt, classiquement définie comme « une formation végétale dominée par l'arbre » (Côté, 2000), est représentée comme un espace ressource avec l'exploitation du bois, un écosystème riche en biodiversité ou encore comme un espace de loisirs (Michon, 2003). La forêt est également vécue de façon singulière par chacun d'entre nous, la forêt du forestier, du promeneur, du chercheur ou du chasseur ne sont pas identiques, chacun chemine dans un univers sensoriel lié à son histoire personnelle, son éducation et ses questionnements (Le Breton, 2015). Ainsi, la forêt est un élément de l'identité d'un territoire mais elle est aussi une expérience individuelle et collective (Soilihi et al., 2018).

Dans ce contexte, notre recherche vise à documenter les caractéristiques de la représentation d'une forêt et les enjeux qui gravitent autour d'elle pour des élèves de cycle 3. Ensuite, nous proposons d'analyser les perceptions de la forêt pour ces élèves lors d'une sortie en forêt soit une expérience de nature. Voici donc les deux questions que nous nous posons :

- Quelles sont les représentations de la forêt pour des élèves de 8 à 10 ans et comment évoluent-elles à l'issue d'une séquence intégrant des expériences de nature ?
- Dans quelle mesure les expériences de nature contribuent-elles aux perceptions de la forêt des élèves ?

Méthodologie

Élèves participants

Trois classes d'élèves de CM1-CM2 (N=56) de la même école sont concernées par ce projet. Ils résident dans une commune rurale de l'Ariège (09) à quelques kilomètres de Foix. Ils sont âgés de 8 à 10 ans.

Déroulement du projet et recueil de données

La première étape du travail vise à relever chez les élèves leurs représentations de la forêt. Ainsi, lors de la même demi-journée, en début d'année scolaire 2021-2022, ils ont répondu dans un premier temps à un questionnaire comportant 17 questions (voir annexe) et dans un deuxième temps, ils ont réalisé un dessin avec comme consigne : « Dessiner une forêt ».

Quelques jours plus tard, une sortie dans une forêt à proximité de l'école (20 minutes à pied) a été organisée. L'objectif était de (re)découvrir la forêt, notamment en observant sa biodiversité et en questionnant les relations entre différents êtres vivants. Nous avons

notamment observé les différentes strates végétales, les traces d'animaux et abordé les relations trophiques et mutualistes (lichen, lierre/pollinisateurs).

Une deuxième sortie dans une forêt de montagne a eu lieu quelques mois plus tard. Trois ateliers y ont été mis en place : (i) à la découverte des petites « bêtes » de la litière, (ii) à la découverte des charbonnières, et (iii) immersion dans deux milieux contrastés. Ce dernier atelier a consisté à placer les élèves dans une hêtraie et dans une clairière, en s'inspirant des travaux de Gravel et Pruneau (2004) sur la relation à l'environnement. Après un temps d'observation d'un micro-lieu, quasi-immobile, trois questions, identiques dans chaque milieu, sont posées :

- Qu'as-tu exploré et découvert dans ce lieu ?
- Quels sont les êtres vivants qui pourraient habiter/utiliser ce lieu ?
- Qu'est ce qui parait intéressant/important dans ce lieu et pourquoi ?

À la fin de l'atelier, la question suivante a été posée :

- Dans quel lieu tu t'es senti le mieux ? Explique pourquoi.

Cette recherche s'est achevée par un ultime recueil des représentations avec la réalisation d'un dessin et le questionnaire de la première étape complété de trois questions supplémentaires :

- Qu'est-ce que tu as appris au cours des deux sorties en forêt réalisées dans l'année ?
- Qu'est-ce que tu as préféré pendant ces deux sorties en forêt ? Essaye d'expliquer pourquoi.
- Parmi les êtres vivants rencontrés lors de ces sorties en forêt, lequel préfères-tu ? et pourquoi ?

Indicateurs retenus pour l'analyse des données

Les dessins ont fait l'objet d'une analyse de contenu catégorielle en relevant une série de variables descriptives complétées et confirmées par les commentaires des enfants. Les catégories sont définies de façon partiellement inductive en fonction des propriétés des dessins (Farcy et al., 2015). Les catégories mobilisées sont les suivantes : les arbres (nombre et diversité), les animaux (nombre et diversité), la présence d'humains (nombre et fonction) et/ou des traces d'activités humaines (constructions, chemin…), le sol et les champignons.

Les éléments du biotope sont également relevés (rivière, rocher, etc.). Cette identification est complétée par les propos de chaque élève lorsqu'il décrit oralement son dessin au chercheur.

Certaines réponses aux questions ouvertes du questionnaire (par exemple, les questions 6, 16, 17 ; cf. annexe) ont fait l'objet d'une catégorisation intersubjective en relation avec le cadre théorique s'appuyant sur les définitions de la forêt (Coté, 2000 ; Michon, 2003) : habitat pour les animaux, loisirs (cabane, balade, découverte), bien être (se détendre, se ressourcer), ressources (bois, champignons, animaux). Une réponse peut contribuer à plusieurs catégories (Tableau n°1).

Réponse des élèves (question 16)	**habitat**	**respirer**	**ressource**	**loisirs**	**bien-être**
nourrir des animaux, à faire de l'air avec les feuilles des arbres	1	1			
à respirer, à s'amuser, à dormir		1		1	
à se détendre, à marcher ou aux besoins nécessaires comme bois, champignons			1	1	1

Tableau n°1 : Exemples de catégorisation pour la question ouverte 6

D'autres questions ouvertes (questions 1, 4, 5, 13, 14, 15) font appel à des éléments précis d'énonciation de type inventaire. Par exemple, pour la question 13 : « Est-ce que tu connais les noms d'arbres qu'on peut trouver dans une forêt ? si oui lesquels ? », nous avons procédé à un simple comptage des différents noms proposés par les élèves.

Le troisième corpus concerne les données relatives à une immersion en forêt au cours de laquelle les élèves ont rédigé une description perceptive et une explicitation d'un choix de lieu (Tableau n°2). Celles-ci ont été catégorisées sur la base de regroupement sémantique : biodiversité, bien être, esthétique, autre. Comme précédemment, les propositions comportant plusieurs dimensions sont comptabilisées dans chaque catégorie concernée.

Exemples d'arguments des élèves en réponse à la question : Dans quel lieu tu t'es senti le mieux ? Explique pourquoi.	**Catégories**
Parce ce que je me suis senti bien quand j'ai touché les plantes	bien être

Exemples d'arguments des élèves en réponse à la question : Dans quel lieu tu t'es senti le mieux ? Explique pourquoi.	**Catégories**
Parce que c'est la forêt il pleut il y a plein d'animaux et il y a des feuilles et il y a des arbres	biodiversité
Parce que c'est beau et s'est un peu « magical »	esthétique
Car c'est plus grand	autre

Tableau n°2 : Exemple de catégorisation en réponse pour l'explicitation par les élèves des choix de lieu lors de l'immersion

Résultats

Les représentations de la forêt

Analyse des dessins

Les dessins proposent un plus grand nombre d'arbres que d'animaux, une diversité végétale plus importante que la diversité animale. Dans la quasi-totalité des dessins, on trouve au moins un arbre (de 1 à 48 arbres). En revanche, il n'y a pas d'animaux dans 27% des dessins, et pour les autres on dénombre jusqu'à 15 animaux dessinés (Tableau n°3). Au-delà des végétaux et des animaux, les champignons sont présents dans 25% des dessins (dessins 1, 2 et 6, Figure n°1). La présence d'humains est minoritaire (11% des dessins), elle est représentée par des promeneurs, des enfants, des chasseurs ou des bucherons. Concernant des traces d'activités humaines (maison, cabane, feu de camps, chemin, arbres coupés), on les trouve dans 37% des dessins.

	Nombre d'arbres	**Nombre d'animaux**	**Diversité végétale**	**Diversité animale**
Dessin ante (n = 56)	5,7	3,6	2,8	2,1
Dessin post (n = 48)	6,7	3,8	2,3	1,4

Tableau n°3 : Nombre et diversité des végétaux et des animaux présents sur les dessins 5 (moyenne par dessin)

Seulement quelques élèves (5%) dessinent le sol en coupe en proposant les racines, et des animaux tels que vers de terre, fourmilière, ou encore terriers de renard (voir par exemple le dessin 4, Figure n° 1). Du point de vue de la forme des arbres, celle-ci est un stéréotype de l'arbre feuillu ou résineux, avec un tronc parfois même tracé à la règle et un houppier de

forme simple, comme en témoignent les dessins ci-dessous (Figure n°1). Les végétaux, dont les arbres, occupent davantage d'espace sur la feuille que les animaux.

Du point de vue de l'évolution de ces dessins, nous notons peu ou pas de différences dans les contenus dessinés avant et après la séquence.

Figure n°1 : Exemples de dessins ante (1, 2, 3) et de dessins post séquence (4, 5, 6)

Analyse des questionnaires sur les représentations ante et post

Les réponses à la question 1 « Qu'est-ce qu'une forêt ? » ont permis de définir la forêt comme « un endroit avec/où vivent plein/beaucoup d'arbres et d'animaux » (Figure n°2).

Cette représentation est relativement stable, avec cependant la présence des animaux qui diminue (75% ante et 49% post).

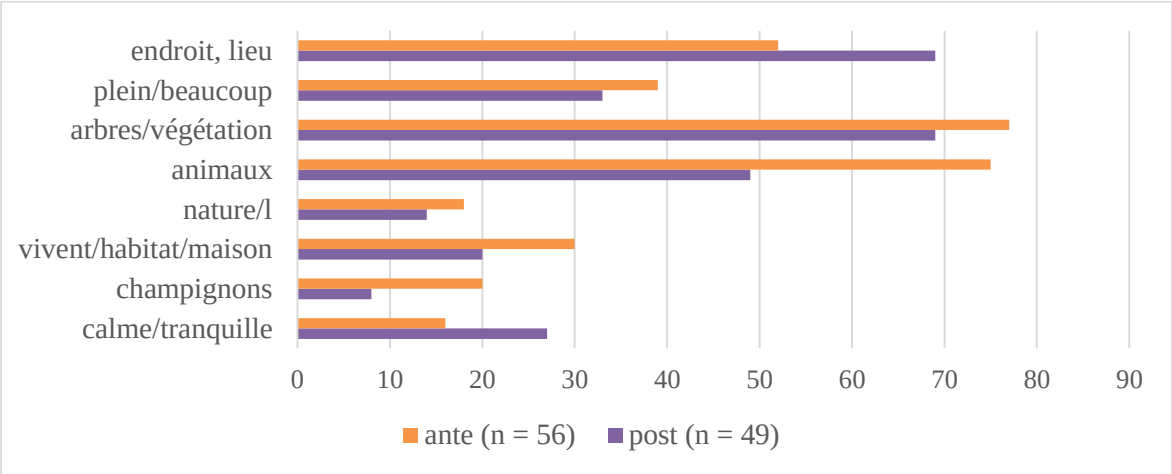


Figure n°2 : Éléments relatifs à la définition d'une forêt (en %)

À la question 5 « Quels êtres vivants peut-on trouver dans une forêt ? », les réponses comptabilisent 288 êtres vivants pour 56 élèves, soit 5 êtres vivants (de 0 à 13) en moyenne. À l'inverse du contenu des dessins, les animaux sont prédominants : ils représentent 91% des êtres vivants cités pour seulement 5% de végétaux. Les mammifères sont majoritaires en diversité : 32 mammifères sur 62 êtres vivants cités au total (81% des élèves en citent au moins un). De plus, parmi les 10 êtres vivants les plus cités, 8 sont des mammifères : dans l'ordre d'importance, les élèves citent l'écureuil, le loup, les oiseaux, le renard, le cerf, l'ours, le sanglier, les insectes, la biche et le lapin.

Avec deux questions plus ciblées, une sur les arbres que l'on peut trouver dans la forêt (question 13) et l'autre sur les animaux (question 14), les élèves citent cette fois-ci davantage d'arbres (2,9 arbres en moyenne), même si le nombre d'animaux cités reste pratiquement deux fois plus important que le nombre d'arbres (4,9 animaux en moyenne, Figure n°3). Le nombre d'arbres et d'animaux cités par élève n'évolue pas après la séquence (de 4,7 à 5,1 animaux et 2,9 arbres).

Les arbres les plus cités sont le chêne, le sapin, le bouleau et le châtaignier. Nous notons qu'après les sorties, le chêne est cité par 84% des élèves (sortie 1 : forêt de chênes), et le hêtre par la moitié d'entre eux (sortie 2 : hêtraie) alors qu'il est quasiment absent du premier questionnaire. Les animaux dominants sont des mammifères, tels que le renard, le loup, le cerf et la biche, et le sanglier. Nous observons une diminution pour certains animaux emblématiques de la forêt (ours, loup, cerf, biche) alors que d'autres augmentent

sensiblement après la séquence (sanglier et limace : traces et animaux observés lors de la sortie 2).

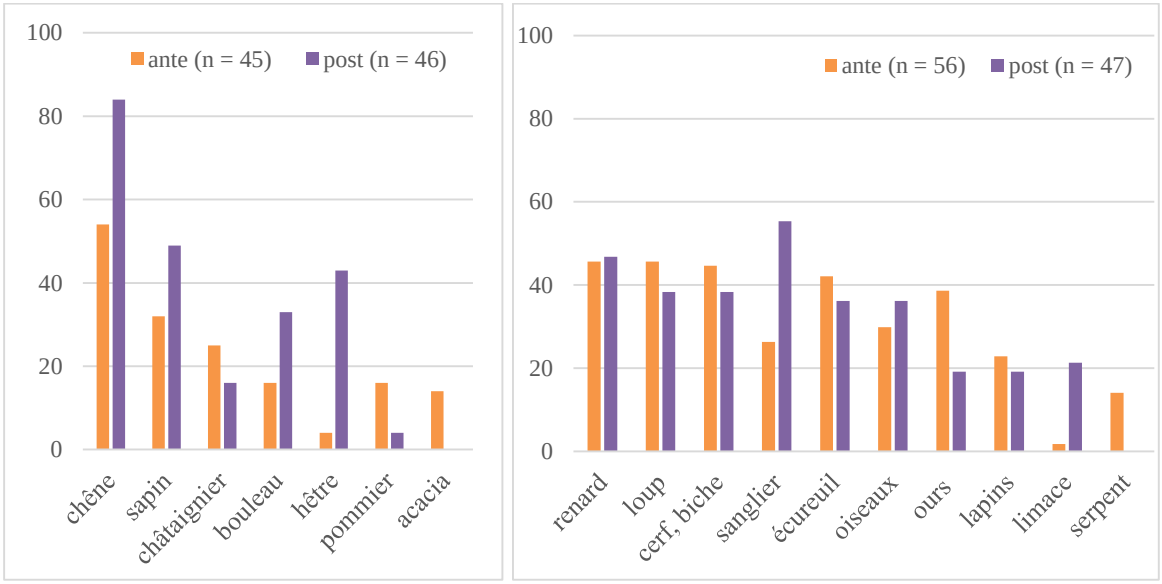


Figure n°3 : Arbres et animaux de la forêt ante et post sorties (en % d'élèves)

Parmi les 5 catégories les plus citées par les élèves à la question 6 « A quoi peut servir une forêt ? », les fonctions attribuées à la forêt concernent majoritairement les usages pour les humains (en termes de ressources, loisirs, bien-être et respirer). Il faut noter que la fonction d'habitat et de nourriture pour les animaux représente la deuxième catégorie la plus citée, par environ 40% des élèves (Figure n°4).

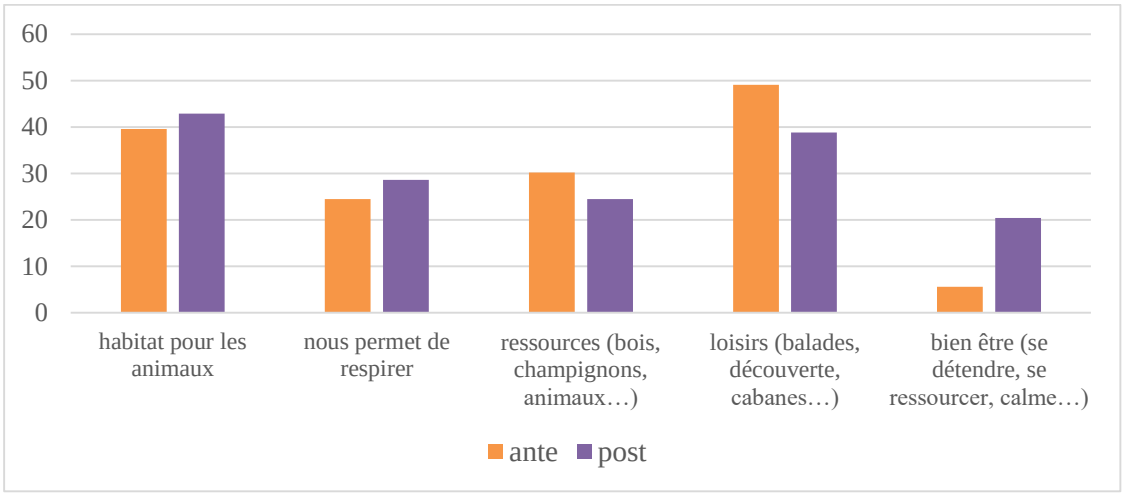


Figure n°4 : A quoi peut servir une forêt ? (en %, n = 53 ante, n = 49 post)

À la question 17 « Pour toi, est-ce que la forêt c'est important ? Essaie de nous expliquer pourquoi », tous les élèves disent qu'elle est importante (sauf deux qui ne savent pas

expliquer pourquoi). Sur les 95 arguments (54 ante et 41 post), le plus cité est le rôle (parfois magique) de producteur d'air (ou d'oxygène) pour nous permettre de respirer (53% des arguments), suivi par le rôle d'habitat pour les animaux (28% des arguments). Enfin quelques élèves soulignent l'importance de la forêt comme ressource (bois, papier, nourriture) et d'autres comme lieu de loisirs, de bien-être et de découverte. On trouve donc quelques points de convergence entre les raisons de l'importance et les fonctions de la forêt.

Enfin, lorsqu'on leur demande si la forêt est en danger (question 16) les élèves évoquent comme dangers les plus importants l'exploitation de la forêt et les incendies (Figure n°5). Nous notons un malentendu dans la compréhension de la question pour un quart des propositions qui désignent un danger pour l'enfant (se faire manger par un animal, se faire charger par un sanglier ou encore se faire tirer dessus par un chasseur). Le 4e danger évoqué par les élèves concerne la pollution. En comparant les réponses ante et post, la tendance est une augmentation pour la déforestation et une diminution pour les autres dangers cités.

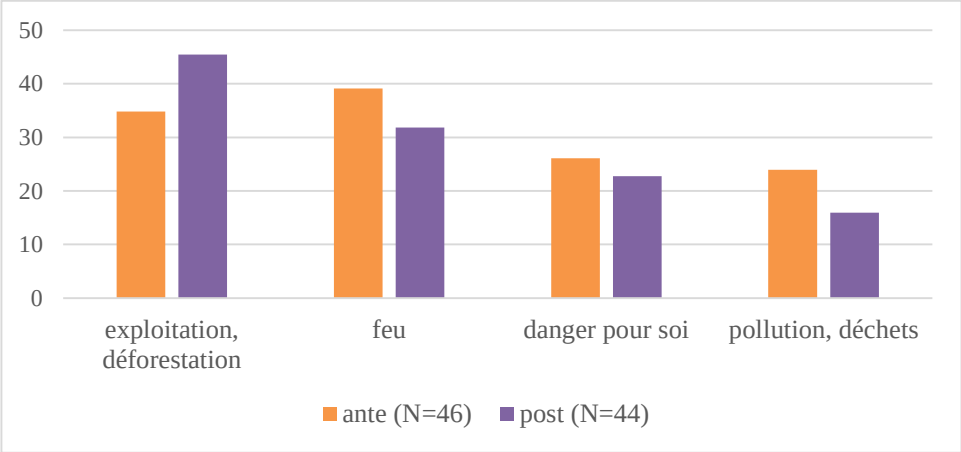


Figure n°5 : La forêt est-elle en danger ? (en %)

Expériences de nature et perceptions lors des sorties

Expérience de nature

Lorsque les élèves sont en immersion dans le milieu, que ce soit dans la clairière ou dans la hêtraie, les végétaux apparaissent comme les éléments les plus importants dans leur réponse. De fait, ils correspondent aux êtres vivants explorés dans ces milieux (Tableau n°4). Les animaux sont majoritaires comme êtres vivants habitant ce lieu. Enfin, un tiers des réponses associent végétaux et animaux, notamment les gales observées sur les feuilles de hêtre (relation de défense de l'arbre vis-à-vis d'insectes).

	Végétaux	Végétaux et animaux	Animaux
Qu'as-tu exploré et découvert dans ce lieu ? (n = 108)	64	35	1
Qu'est-ce qui te parait intéressant/important dans ce lieu et pourquoi ? (n = 80)	55	36	9
Quels sont les êtres vivants qui pourraient habiter/utiliser ce lieu ? (n = 91)	9	30	61

Tableau n°4 : Réponses des élèves pendant l'atelier d'immersion (en %)

Dans les justifications quant à l'importance de ce lieu (n = 64), plus de la moitié indique que le lieu est important « pour respirer », « pour vivre », « pour se détendre », ou encore pour des raisons nourricières ou esthétiques (« c'est joli »). Une autre partie des raisons désigne l'habitat ou la nourriture pour les animaux (36%).

Nous avons relevé les différents éléments indiqués par les élèves pour l'ensemble des questions posées durant cet atelier d'immersion (Tableau n°4), dans la clairière et dans la forêt (n = 892). Les végétaux sont majoritaires (57%) devant les animaux (42%) et les éléments du milieu (3%).

Concernant les animaux cités (n = 304), la prédominance des « petites bêtes » est remarquable (78%), par rapport aux mammifères (12%) et aux oiseaux (9%) ; elle est là aussi fidèle à l'expérience de nature qu'ils ont vécue. Dans l'ordre d'importance, on trouve la succession suivante : insecte, limace, animaux, abeille, fourmi, oiseaux, araignée, mouche, papillon, sanglier.

Perception lors de l'immersion

Le moment de perception des deux micro-lieux au sein desquels les élèves ont été immergés révèle une légère préférence pour le milieu clairière par rapport à la forêt. Lors de l'explicitation de ce choix, les arguments apportés relèvent principalement de la sensation de bien-être et font référence aux êtres vivants présents, parfois de façon positive (choix de la prairie « parce qu'il y avait des fleurs, des plantes et plein d'insectes »), parfois de façon négative (choix de la prairie « car il y a plus de choses que dans la forêt, et que dans la forêt c'est plus sombre donc on peut avoir plus peur »). Pour quelques élèves, les arguments évoquent une inquiétude dans le milieu plus fermé et plus sombre de la forêt par rapport à

celui de la prairie, dans la mesure où les élèves devaient choisir un endroit relativement isolé les uns des autres.

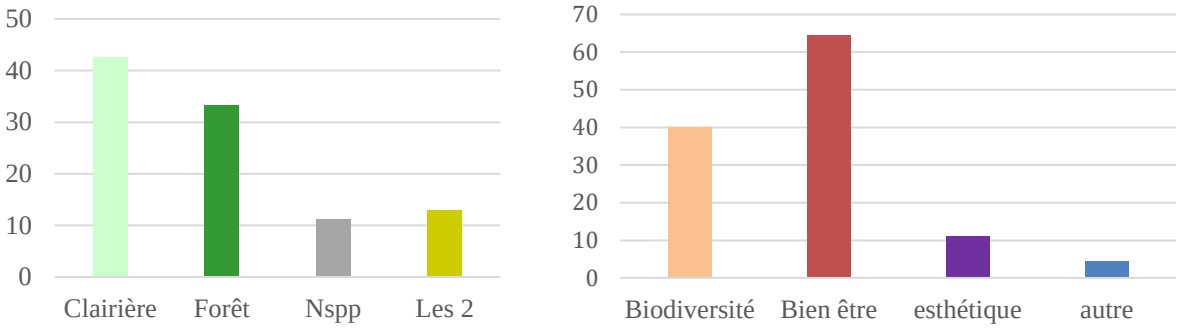


Figure n°6 : Résultat d'une question en « immersion » : Dans quel lieu tu t'es senti le mieux ? Explique pourquoi (en %)

Ce que les élèves retiennent des sorties

À la suite des sorties en forêt, les élèves sont questionnés sur l'être vivant rencontré qu'ils ont préféré. Sur 34 réponses, 82% désignent un ou plusieurs animaux, ils sont peu nombreux à citer les arbres (18%). La différence majeure avec le questionnaire initial porte sur le type d'animal : sur les 34 animaux cités, seulement 7 sont des mammifères, 7 des oiseaux et plus de la moitié (20) sont des « petites bêtes » rencontrées lors de la deuxième sortie (araignées, scarabées, limaces). De plus, lorsqu'ils indiquent leur préférence, la dimension expérientielle est mobilisée, comme en témoignent les réponses ci-dessous (Tableau n°5).

Propos sur les êtres vivants qu'ils ont préféré au cours des sorties
Les arbres parce que je voulais leur faire des câlins
Les arbres car ça fait de l'ombre et ça rends les endroits encore plus apaisant
Les scarabées car j'ai pu les mettre sur ma main et je l'ai vu marcher
L'insecte que j'ai préféré est le cloporte car il se roule en boule
L'araignée car c'était mon amie
Une araignée qu'on a pris sur nos mains
Une araignée qu'on a trouvée, on l'a nommée l'araignée Gypsi. Et j'ai aussi aimé un arbre en particulier mais je ne sais plus comment il s'appelle.
Les oiseaux car on pouvait entendre le beau temps qui arrivait et la pluie qui arrivait
Oui les limaces car elles étaient drôles !
Le sanglier car il est puissant et stylé !

Tableau n°5 : Exemples d'être vivant rencontré préféré

Discussion

Des représentations de la forêt partagées à différentes échelles

Les représentations que nous avons relevées dans notre étude sont assez similaires à celles des quelques études existantes, à notre connaissance, sur cette thématique de la forêt et surtout chez les jeunes. Par exemple, Farcy et al. (2015) ont analysé les représentations sociales de la forêt à partir d'un corpus de 100 dessins d'enfants européens, âgés de 6 à 10 ans, réalisés dans le cadre d'un concours lancé par la Commission Européenne dont le thème était « Qu'est-ce que la forêt pour moi ? ». La forêt y est majoritairement représentée du sol jusqu'au ciel, sans prise en compte du système souterrain et caractérisée par la présence d'arbres. Les animaux prédominants sont des mammifères et parmi eux des cervidés (28 %), des écureuils (16%), et des renards (15%) pour les plus dessinés. Cependant, contrairement à nos résultats, la présence d'humain(s) ou de traces d'activité humaine est majoritaire (68% contre 37%).

Une autre étude, réalisée aux États-Unis, avec 40 enfants plus jeunes (6-7ans), analyse des dessins de forêts et des réponses d'un questionnaire sur les forêts et les types d'êtres vivants que l'on y trouve (Strommen,1995). Les définitions de la forêt données par ces enfants étaient très similaires entre elles et se résument ainsi : « la forêt est un endroit avec beaucoup d'arbres et beaucoup de différentes sortes d'animaux », ce qui est identique à la définition type des élèves de notre étude. En revanche, nos élèves se réfèrent en majorité à des animaux potentiellement forestiers, contrairement aux enfants américains qui impliquent des animaux non forestiers. Un autre point commun concerne la dimension cognitive : les élèves sont nombreux à utiliser des termes génériques (arbres, plantes, animaux, oiseaux, insectes) sans distinction de la diversité spécifique existant en leur sein. Cependant, lors du post-questionnaire, nous observons un enrichissement de ces termes génériques par des exemples d'animaux plus précis, notamment de petits animaux (araignées, mille pattes, cloportes, limaces, insectes…) qui n'apparaissaient pas spontanément.

Ces représentations de la forêt paraissent assez classiques et/ou stéréotypées, et assez proches des représentations sociales de la forêt qui sont constatées dans les études et enquêtes chez les adultes. Dans l'enquête « Forêts-Sociétés », menée par l'ONF en 2015, l'affirmation « la forêt est un espace de nature » est celle qui définit le mieux la forêt, pour 68% des enquêtés (Cordellier et Dobrée, 2017). L'affirmation « La forêt est un réservoir de diversité biologique » est, elle, classée en 3^{e} position avec 59%. Cette représentation « de

nature » ou écologique est également bien présente dans une autre enquête avec 92% des personnes qui pensent que « la forêt procure un lien avec la nature » (Viavoice et ONF, 2021).

Dans notre étude, l'usage de la forêt qu'en font les élèves est essentiellement récréatif : se promener, jouer, faire des cabanes ; quel que soit le moment du questionnaire. L'activité « se promener » est de loin la plus citée (63%) devant « ramasser des champignons » (33%). Ces activités sont également présentes et dominantes chez les adultes français qui déclarent que « la promenade en famille ou avec des amis » constitue leur principale activité en forêt (64%) suivie de « la cueillette des fleurs, des fruits et des champignons » (29 %) (Cordellier et Dobrée, 2017).

Alors que les représentations concernant les fonctions de la forêt vont rester sensiblement les mêmes pour les catégories les plus citées : « loisirs » et « habitat pour les animaux », on voit se renforcer la catégorie « bien-être » en fin de projet (de 6 à 20% des élèves). Dans l'enquête de Viavoice et ONF (2021), 58% des enquêtés mettent également en avant les bienfaits de la forêt sur les plans personnel et psychologique. Les études de Dodier (2019) et de Bigando (2020) vont également dans ce sens, le premier auteur parle « d'espace prophylactique » et la deuxième de « capacité à être source de bien-être ». Cette fonction sociale au sens large du terme, prenant en compte à la fois les loisirs, la récréation et le bien-être devient de plus en plus importante dans les représentations des européens (Ciesielski et Stereńczak, 2018). A ce propos, quant à l'importance de la forêt, la majorité des arguments (53% des arguments) évoque la production d'air (ou d'oxygène) pour nous permettre de respirer. Ainsi, la forêt est représentée comme un « poumon vert », un endroit où l'air est de meilleure qualité.

Les dangers cités par les élèves sont également ceux cités dans les différentes enquêtes ou études relevant les représentations des français et européens au sujet de la forêt. Les deux principales menaces sont les incendies et l'exploitation forestière (Cordellier et Dobrée, 2017 ; Rametsteiner, 2009 ; Viavoice et ONF, 2021).

Comme nous l'avons évoqué précédemment, ces représentations peuvent être assimilées à des représentations sociales définies avec un « noyau central » déterminé, socialement et historiquement qui semble résister au changement(s) et expérience(s) (Moscovici, 1961). En effet, même après plusieurs mois, les représentations des élèves évoluent à la marge. Cette évolution peut être interprétée comme la « périphérie » de la représentation sociale.

Les représentations bousculées par l'expérience

Cette stabilité des représentations n'est-elle pas en trompe l'œil ? N'est-il pas surprenant que d'une génération à une autre, d'une région européenne à une autre les représentations de la forêt soient si proches, si homogènes ? Est-ce la modalité de recueil des représentations (en milieu fermé, en classe ou à la maison) qui contribue à cette homogénéité des réponses ? Dans notre contexte d'étude, l'immersion dans les deux lieux (clairière, forêt) fait apparaitre de façon récurrente et diversifiée de nouveaux éléments dans les représentations, comme les « petites bêtes ». À tel point que parmi les cinq noms d'animaux les plus cités, un concerne le nom générique « d'insectes » et deux sont plus spécifiques (abeille, fourmi) et un gastéropode (limace), ce qui n'est pas le cas en condition ordinaire (en salle, loin de la forêt) du recueil de représentations. La fréquentation de forêts semble inviter à une plus grande précision dans la désignation des espèces d'arbres qui peuplent la forêt (hêtres et chênes notamment) et les animaux cités sont en légère recomposition, avec le renforcement du sanglier et l'apparition nette des limaces. Le glissement de l'attention des élèves, passant de mammifères très présents dans les imaginaires enfantins à une liste s'approchant davantage de la réalité est à noter.

D'autre part, Varela (1992 - 2017, p. 215-216) pointe un élément intéressant à considérer : « un préjugé profondément enraciné dans notre tradition scientifique à savoir que le monde présenté à l'expérience vécue est indépendant du sujet percevant et connaissant ». En s'appuyant sur l'étude des processus de détections neuronales et cognitives des couleurs ou des odeurs, celles-ci se révèlent être, « non pas une représentation passive de propriétés extérieures mais bien une dimension créatrice basée sur une histoire » où les perceptions vont jouer un rôle central dans cette même détection des odeurs ou des couleurs. En effet, lorsque les élèves se remémorant la sortie énoncent des phrases du type « une araignée qu'on a pris sur nos mains ; les arbres car ça fait de l'ombre et ça rend les endroits encore plus apaisants » (Tableau n°5), nous sommes étonnés de la facilité dans ces formulations d'agréger plusieurs registres de connaissances (des savoirs naturalistes, des éléments issus de l'expérience, des affects…). L'expérience mobilise deux composantes indissociables (Dewey, 1925, 2012) : une composante active, l'action du sujet sur le monde et une composante passive, « l'éprouvé » du monde sur le sujet. Cette réflexion fait écho au corps senti et au corps sentant de Merleau-Ponty (2010). Ainsi lorsqu'un élève écrit « les scarabées car j'ai pu les mettre sur ma main et je l'ai vu marcher », il énonce dans une même phrase un

animal associé à une expérience sensible et à une action avec cet animal. Dans sa proposition de l'énaction ou de cognition incarnée, Varela insiste sur la nécessaire « mise en avant » ou mise en contact, le fait de se mettre en mouvement dans un milieu permet de faire émerger des connaissances, des relations qui n'auraient pas été révélées dans une situation scolaire ordinaire dans une salle de classe. Ainsi, les sorties sur le terrain ont permis aux élèves plusieurs types de mises en mouvement, d'actions simples, comme se déplacer d'un atelier à l'autre. Lors de ces déplacements, les micro-endroits visités avaient des caractéristiques distinctes : sombres et sol à nu pour l'atelier charbonnage, sous-couvert forestier et petits arbres pour l'atelier petites bêtes, forêt clairsemée ou dense, puis clairière pour l'atelier « immersion ». Autant de configurations avec des lumières, des sols, des organisations très distinctes fournissant une première gamme d'informations, complétée par une sphère sensorielle dynamique (sons, odeurs, sens haptique et kinésique) liée à la mise en mouvement des élèves. L'énaction nous invite à accorder davantage d'attention à ces petits riens qui vont participer à la construction des perceptions des élèves en révélant une émergence de signification lors de ces expériences. Pour en faire un objet d'apprentissage, cette expérience doit être explicitée et devenir un objet d'attention avec les élèves.

Le langage permet dans un même mouvement de conscientiser l'expérience et de la partager, puis de l'enrichir au fur et à mesure de nouvelles expériences aboutissant ainsi à une nouvelle reconfiguration. Le langage, acteur d'un processus de conscientisation, semble le faire en « cristallisant quelques sels dissouts », invisible jusque-là, la perception joue un rôle de révélateur. Lors de l'explicitation du choix du lieu par les élèves, le fait que le bien être soit le champ principal mis en avant indique que la sphère émotionnelle et affective est partie prenante du processus de mise en relation avec le milieu.

Les élèves ont particulièrement retenu des sorties les moments de mises en action, appartenant soit à la sphère scolaire (étudier, observer, prélever, chercher), soit à la sphère ludique enfantine (construire des cabanes, jouer). Ces dimensions correspondent à la composante active ; l'action du sujet sur le monde de l'expérience selon Dewey. L'expression d'un bien-être dans et avec le milieu va davantage s'exprimer dans les moments de réflexivité individuelle lors de l'expérience de nature et peut être associée à la composante passive de l'expérience, « l'éprouvé » du monde sur le sujet. Ces moments d'immersion dans le milieu accompagnés d'une mise en réflexivité par écrit semblent opérer des ajustements importants d'appréciation au sujet de la forêt.

Nous pouvons pointer néanmoins une des faiblesses du moment d'immersion ; celui-ci a été relativement bref (deux fois vingt minutes) et les réponses des élèves sont également brèves. Cette modalité de recueil de données se rapproche de la phénoménologie à la première personne (Depraz, 2012) et il serait sans doute intéressant de la mobiliser davantage et de l'adapter à notre terrain.

Conclusion

Les représentations des élèves de la forêt paraissent assez classiques, assez proches des représentations sociales de la forêt qui sont constatées dans les études et enquêtes aussi bien chez les enfants que chez les adultes. Ces représentations mettent en avant la dimension biodiversité et les services rendus aux humains (ressources, loisirs).

Notre étude souligne la nécessité de bien documenter les expériences de nature dans la mesure où elles peuvent contribuer à enrichir les perceptions et à modifier les représentations. Les élèves ont ainsi pu travailler en associant les dimensions émotionnelle et cognitive. L'expérience, multidimensionnelle (cognitive, affective, conative et corporelle) selon Dewey, révèle qu'une attention aux perceptions des élèves et à leur étude est une porte d'entrée pour aborder des savoirs en constructions de façon énactive et située. Ces dimensions sont interdépendantes et interactives, donc dynamiques ; elles restent parfois difficiles à étudier dans l'enceinte scolaire. Un autre point à souligner concerne la dimension cognitive : les élèves utilisent fréquemment des termes génériques (arbres, plantes, animaux, oiseaux, insectes) sans distinction de la diversité spécifique existant en leur sein. Cependant, lors du post-questionnaire, un enrichissement de ces termes génériques par des exemples d'animaux plus précis a été observé, notamment des petits animaux (araignées, mille pattes, cloportes, limaces, insectes…) qui n'apparaissaient pas initialement. La mise en synergie, lors de sorties, de l'action et de dimensions cognitives et émotionnelles, semble être un levier à une nécessaire alphabétisation écologique (Hammarsten et al., 2019) tout en permettant aux élèves de « faire monde » et d'entrer en relation avec des espèces devenues « compagnes » (Haraway, 2008).

Bibliographie

Abric, J.-C. (1987). *Coopération, compétition et représentations sociales*. Delval, Fribourg-Cousset.

Bédard, M. (2016). Réflexion sur les perceptions, conceptions, représentations et affections, ou la quadrature des approches qualitatives en géographie. *Cahiers de géographie du Québec*, 60(171), 531–549. https://doi.org/10.7202/1041221ar

Bigando, E. (2020). Quand la forêt s'impose comme une évidence paysagère pour l'habitant, *Projets de Paysage*, 22. DOI : https://doi.org/10.4000/paysage.9291

Bourgeois E., (2013). Expérience et apprentissage. La contribution de John Dewey, dans L. Albarelo et al. (dir.), *Expérience, activité, apprentissage* (13-38). PUF.

Clément, A. (2007). À l'école de la forêt. Opération interministérielle entre le ministère chargé de l'Education nationale et le ministère chargé de l'Agriculture. *Forêt Méditerranéenne*, 28(3), 237-244.

Ciesielski, M. et Stereńczak, K. (2018). What do we expect from forests? The European view of public demands. *Journal of environmental management*, 209, 139-151.

Coquidé, M. (2019). Sensibiliser au développement durable en maternelle ? dans M. Graner et A. Giordan (coord.), *L'éducation à l'environnement et au développement durable*, (p. 50-58) École changer de cap. Disponible à https://frene.org/wp-content/uploads/2020/09/dossier-eedd.pdf#page=50

Cordellier, M. et Dobrée, M. (2017). *Usages et images de la forêt en France. Enquête « forêt et société », novembre 2015*. Rapport de recherche. ONF ; Université de Caen, CERReV.

Côté, M. (2000). *Dictionnaire de la foresterie*. Ordre des ingénieurs forestiers.

Depraz, N. (2012). Comprendre la phénoménologie. Une pratique concrète. Armand Colin.

Descola, P. (2005). *Par-delà nature et culture*. Gallimard.

Dewey, J. (2012). *Expérience et nature*. Gallimard. (1ère édition 1925, en langue anglaise).

Dodier, R. (2019). Perception sociale de la forêt : un espace plus prophylactique que pathogène. *Revue forestière française*, LXX (2-3-4), 287-295.

Farcy, C., Herrezeel, A., Matagne, J., De Smedt, T., Fastrez, P., Zamalloa, M. G. G. et Feuillat, C. (2015, 7-11 septembre). Qu'est-ce que la forêt pour moi ? Éléments émergents pour une typologie des représentations sociales de la forêt par les enfants de l'Union Européenne. [communication orale]. XIVe congrès forestier mondial, Durban, Afrique du Sud.

Gravel, H. et Pruneau, D. (2004). Une étude de la réceptivité à l'environnement chez les adolescents. *Revue de l'Université de Moncton*, *35*(1), 165-187.

Hammarsten, M., Askerlund, P., Almers, E., Avery, H. et Samuelsson, T. (2019). Developing ecological literacy in a forest garden: children's perspectives. *Journal of Adventure Education and Outdoor Learning*, *19*(3), 227-241.

Haraway, D. (2021). *Quand les espèces se rencontrent* (Traduit par F. Courtois-L'Heureux). Éditions la Découverte.

Kahn, P. H. (2002). Children's affiliations with nature: structure, development, and the problem of environnemental generational amnesia. Dans P. H. Kahn et S. R. Kellert (coord.), *Children and nature: psychological, sociocultural, and evolutionary investigations* (p. 93-116). MIT Press.

Le Breton, D. (2015). La saveur du monde, une anthropologie des sens. Éditions Métailié.

Léna, J.-Y. (2021, 21-25 juin). *Les expériences de nature en ville : quels fondements théoriques et quels enjeux pour l'éducation ?* [communication orale]. Colloque international de recherche T2021 : Transitions écologiques en transactions et actions, Toulouse.

Michon, G. (2003). Ma forêt, ta forêt, leur forêt : perception et enjeux autour de l'espace forestier. *Bois & forêts des tropiques*, 278, 15-24.

Merlau-Ponty, M., (2010). *Phénoménologie de la perception* (1945) (p. 655-1164). *Le visible et l'invisible* (1964) (p. 1637-1780). Dans « *Œuvres* », Edition Quarto Gallimard.

Morizot, B. (2017). Nouvelles alliances avec la terre. Une cohabitation diplomatique avec le vivant. *Tracés. Revue de sciences humaines*, 33, 73-96.

Moscovici, S. (1961). La représentation sociale de la psychanalyse. *Bulletin de psychologie*, 14(194), 807-810.

Orange C. et Orange Ravachol D. (2013). Le concept de représentation en didactique des sciences : sa nécessaire composante épistémologique et ses conséquences. *Recherches en éducation*, 17, 46-61. DOI : https://doi.org/10.4000/ree.7934

Paré, I. (2017). Les représentations sociales pour cerner l'évolution des conceptions de la forêt québécoise : une analyse autour du documentaire L'erreur boréale. *VertigO : la revue électronique en sciences de l'environnement*, 17(1).

Prévot, A. C. et Fleury, C. (2017). De nouvelles expériences de nature pour une nouvelle société. Dans C. Fleury et A. C. Prévot (dir.), *Le souci de la nature, apprendre, inventer, gouverner* (p. 9-22). CNRS Editions.

Pruneau, D. et Lapointe, C. (2002). Un, deux, trois, nous irons aux bois... L'apprentissage expérientiel et ses applications en éducation relative à l'environnement. *Éducation et francophonie*, 30(2), 241-256.

Pyle, R. M. (1978). The extinction of experience. *Horticulture*, 56, 64-67.

Rametsteiner, E., Eichler, L., Berg, J., Aggestam, F., Binda Zane, E., Plumet, C., et Rademaekers, R. (2009). *Shaping forest communication in the European Union: public perceptions of forests and forestry*. ECORYS. Final Report.

Soilihi, A., Levrel, H., Prévot, A. C. et Daré, W. S. (2018). Les perceptions des populations locales de la forêt du Karthala aux Comores et du projet de sa mise en protection : une approche par les cartes cognitives et des représentations sociales. *VertigO: la revue électronique en sciences de l'environnement*, 18(3).

Strommen, E. (1995). Lions and tigers and bears, oh my! Children's conceptions of forests and their inhabitants. *Journal of Research in Science Teaching*, *32*(7), 683-698.

Varela, F. (2017-1992). Quelle est l'origine de la signification perceptive ? une cartographie des idées actuelles. Dans *Le cercle créateur. Ecrits 1976-2001* (p. 187-227). Éditions du Seuil.

Viavoice et ONF (2021). *Parlons forêt. Perception des forêts sur les forêts françaises*. Paris : ViaVoice. Disponible sur : https://www.institut-viavoice .com/parlons-foret/

Annexe

Questionnaire ante et post sur les représentations

Mes idées sur la forêt Indique ta classe : et ton prénom :

1- Pour toi, qu'est-ce qu'une forêt ?

2- Es-tu déjà allé dans une forêt ? (cocher une case) ?

☐ Jamais ☐ Rarement : 2 ou 3 fois dans l'année

☐ Souvent : plusieurs fois par mois ☐ Très souvent : plusieurs fois par semaine

3- Qu'est-ce qu'on peut faire dans une forêt ?

4- Et toi, qu'est-ce que tu y fais dans cette forêt ?

5- Quels êtres vivants on peut trouver dans une forêt ?

6- A quoi peut servir une forêt ?

7- Qu'est-ce que tu ressens quand tu vas dans une forêt (cocher une ou deux émotions) ?

☐ joie ☐ peur ☐ admiration ☐ apaisant (tranquillité)

☐ tristesse ☐ colère ☐ liberté ☐ dégoût

☐ surprise ☐ bonheur ☐ autre :

8- Quelles sont les odeurs que tu associes à la forêt ?

9- Quelles sont les bruits, les sons que tu associes à la forêt ?

10- Quels sont les goûts que tu associes à la forêt ?

11- Avec qui tu vas dans la forêt et pour quoi y faire ?

Avec qui ?	Activité : pour quoi y faire ?	Quelle forêt ? Est-elle « **proche** » (on y va à pied, en vélo) ou « **éloignée** » (en voiture) ?
Avec ta famille proche (parents, frères et sœurs)		
Tes grands parents		
Tes copains – tes copines		
La maîtresse ou le maître		
Tout seul		
Autre :		

12- Si tu devais faire le guide dans la forêt pour un ami, un frère ou une sœur, un parent, qu'est-ce que tu lui ferais découvrir et pourquoi ?

13- Est-ce que tu connais des noms d'arbres qu'on peut trouver dans une forêt ? Si oui, lesquels :

14- Est-ce que tu connais des noms d'animaux qu'on peut trouver dans une forêt ? Si oui, lesquels :

15- Est-ce que tu connais d'autres êtres vivants qui vivent dans la forêt à part des arbres et des animaux ? Si oui, lesquels :

16- D'après toi, la forêt-elle en danger ? si oui, quels sont ces dangers ?

17- Pour toi, est-ce que la forêt c'est important ? Essaie de nous expliquer pourquoi.

Modélisation : analyse de textes institutionnels dans le cas des transformations chimiques

Bouard Rémi [(1)], Canac Sophie [(2)], Kermen Isabelle [(3)]
[(1)] LDAR, Université Paris Cité– France
[(2)] LDAR, Univ Paris Est Créteil, Université Paris Cité, CY Cergy Paris Université, Univ. Lille, UNIROUEN – France
[(3)] CREAD, Univ Brest, Univ Rennes 2 – France

Résumé

Le programme de physique-chimie de la classe de seconde mis en place en France en 2019 met en avant la démarche de modélisation. Ce chapitre vise à présenter l'analyse de la modélisation des transformations chimiques par une réaction chimique proposée dans le programme et la ressource officielle associée. À partir de considérations épistémologiques et didactiques, nous élaborons une grille d'analyse composée d'indicateurs permettant de repérer des éléments de la démarche de modélisation proposée dans ces textes. Que ce soit dans le programme ou dans la ressource, le modèle réaction chimique est construit à partir d'une démarche inductive. Aucun des deux textes ne souligne le caractère explicatif du modèle, le caractère prédictif n'apparait que dans le programme. Le caractère unificateur du modèle, sa symbolique et son domaine de validité ne sont évoqués que dans la ressource.

Introduction

Nous présentons dans ce chapitre une analyse épistémologique et didactique de documents institutionnels relatifs à la démarche de modélisation, dans le cas des transformations

chimiques en classe de seconde (élèves de 15-16 ans) en France. Les deux documents concernés sont le programme de physique-chimie mis en place en 2019 et la ressource d'accompagnement dédiée à la partie du programme analysée. Dans le cadre d'une recherche sur les pratiques ordinaires d'enseignants du secondaire abordant en classe la modélisation des transformations chimiques par une réaction chimique, l'étude de ces textes institutionnels a constitué un préalable permettant de documenter le déterminant institutionnel des pratiques (Robert, 2008) afin d'évaluer son influence sur la conception et la mise en œuvre des séances. Pour réaliser cette étude préalable nous commençons par identifier, à partir d'une étude didactique, les différentes visions d'une démarche de modélisation en contexte scolaire. Dans un deuxième temps, nous caractérisons, à partir d'une analyse épistémologique, les aspects d'un modèle scientifique puis nous explicitons le modèle scolaire des transformations chimiques. De ces analyses préalables, nous concevons une grille d'indicateurs permettant, après validation de cette grille entre les trois chercheurs, l'analyse comparée des textes institutionnels.

Modélisation en contexte scolaire

Pour un épistémologue tel que Varenne (2016) cité par Crastes et Maurines (2021), la modélisation consiste à « choisir, concevoir ou produire un ou des modèles pour lesquels on a les moyens de les évaluer comme étant parmi les plus performants dans une ou plusieurs fonctions de connaissances attendues, dans un cadre donné ». Cette définition assez générale recouvre assez bien ce qui est considéré comme modélisation en contexte scolaire.

En France, les recherches étudiant ce que font les élèves en classe quand il est question de modélisation dans le domaine des sciences sont relativement anciennes. Les premières recherches menées en collaboration avec l'INRP (Institut National de la Recherche Pédagogique) par l'équipe du LIREST (Laboratoire Interuniversitaire de Recherche sur l'Enseignement des Sciences et des Techniques) avaient pour ambition « de se donner les moyens de transformer les contenus et les activités d'enseignement et d'apprentissage pour développer une maîtrise de la modélisation comme attitude et démarche intellectuelle utilisant certains outils » (Martinand, 1992, p. 8-9). Le modèle est alors le résultat du processus de modélisation (Larcher, 1996). Pour les propriétés de la matière (changements d'état physique, diffusion et compressibilité des gaz), deux exemples de modélisation alternant des phases d'enrichissement du modèle et d'interprétation d'une part (du registre expérimental vers le modèle) et des phases prédictives d'autre part (du modèle vers le

registre expérimental) ont été étudiés à cette époque (Chomat et al., 1988 ; Larcher et al., 1990). Ces processus ont été mis en œuvre par des élèves dans une étude concernant les modifications chimiques de la matière (Larcher et al., 1994), lors d'interprétations d'observations à l'aide du modèle initial proposé (constitué de particules insécables) et de prévisions de résultats expérimentaux à partir des représentations symboliques qu'ils avaient imaginées pour les particules. Les élèves ont dû radicalement modifier le modèle en prenant en compte des particules sécables, les seules à permettre l'interprétation des phénomènes observés. La modélisation, comme dans les études précédentes, s'est effectuée sur un temps long (plusieurs séances) et a conduit à l'élaboration d'un autre modèle pour un nouveau champ expérimental. Au cours de l'élaboration d'un modèle ou de son utilisation, Larcher (1994) souligne le rôle important des contrôles effectués pour estimer la cohérence interne du modèle ou son adéquation avec la situation expérimentale. Tiberghien et Vince (2005) ont montré qu'une difficulté majeure pour les élèves réside dans les relations à effectuer entre le registre expérimental et le monde des théories et des modèles, ces relations relevant aussi pour eux de la modélisation. Adúriz-Bravo (2013) nous paraît rassembler ces différentes visions de la modélisation (action de modéliser) en contexte scolaire, qu'il fait correspondre à l'un des quatre processus suivants :

- construire un nouveau modèle en respectant les connaissances déjà établies, que nous appelons processus de Construction ;
- utiliser un modèle pour expliquer des phénomènes, que nous appelons processus d'Application ;
- améliorer ou ajuster des modèles déjà établis à la lumière de nouvelles données, que nous appelons processus d'Amélioration ;
- apprendre à appliquer des modèles existants dans un contexte d'apprentissage, que nous appelons processus d'Apprentissage.

Le modèle scientifique

Dans ce paragraphe, nous présentons une réflexion épistémologique sur les modèles scientifiques. Reprenant la vision de Varenne (2013), nous préférons nous appuyer sur une revue des caractéristiques générales d'un modèle qui serviront de référence dans la suite plutôt que de donner une définition du modèle qui ne saurait être exhaustive.

Un modèle scientifique est une « construction intellectuelle de quelque chose (…) sciemment et délibérément infidèle à ce qu'il modélise » (Soler, 2013, p. 183). C'est cet écart avec la réalité qui permet au modèle de jouer le rôle d'un outil efficace pour résoudre des problèmes (*ibid.*). Il convient alors de bien identifier le phénomène modélisé (Justi et Gilbert, 2002) et de le distinguer du modèle (Morge et Doly, 2013) en repérant notamment les aspects du réel écartés. Nous réfèrerons à cela dans la suite en parlant du lien modèle – phénomène modélisé.

Plusieurs modèles peuvent rendre compte d'un même phénomène (Soler, 2013). Inversement, plusieurs phénomènes peuvent être interprétés par le même modèle. Ce dernier possède alors un caractère unificateur. Cet aspect correspond à ce que nous désignons par la suite comme la pluralité d'un modèle.

Un modèle peut être symbolisé, ce qui peut lui donner un aspect plus concret (Méheut et Chomat, 1990), mais un risque de confusion entre la représentation symbolique et le modèle lui-même existe (Justi et Gilbert, 2002).

Les fonctions d'un modèle sont de décrire la portion de réalité étudiée, prévoir son devenir et expliquer les phénomènes que l'on interroge (Johsua et Dupin, 1993 ; Oh et Oh, 2011 ; Robardet et Guillaud, 1997 ; Van Driel et Verloop, 2002). Il est considéré comme valide lorsque les prévisions qu'il permet de réaliser sont en adéquation avec les résultats obtenus expérimentalement (Morge et Dolly, 2013). Par la suite, ces aspects correspondent à ce que nous appelons l'efficacité d'un modèle.

Cette adéquation persiste tant que le modèle est appliqué dans son domaine de validité, qui est donc la portion de réalité dans laquelle le modèle est rendu efficace (Soler, 2013). Cet aspect correspond à ce que nous nommons ensuite la localité d'un modèle.

Pour résumer, cette analyse épistémologique conduit à distinguer quatre aspects d'un modèle scientifique : lien modèle – phénomène modélisé, pluralité, efficacité, localité.

Dans les programmes scolaires et dans les classes sont proposés des modèles scientifiques scolaires, ou modèles à enseigner. Ils proviennent de modèles scientifiques dont ils sont parfois très éloignés. En effet, utiliser des modèles scientifiques en classe nécessite que ceux-ci soient adaptés aux objectifs d'enseignement et aux capacités cognitives des élèves. Celles-ci sont très différentes par exemple pour un élève au début du collège et en fin de lycée. Les objectifs d'enseignement imposent également une progressivité dans la présentation des

modèles (et des éléments qui les constituent) dont la complexité peut évoluer avec le niveau d'étude.

L'exemple de la réaction chimique comme modèle en contexte scolaire

Le modèle scientifique scolaire des transformations chimiques évolue du cycle 4 où ne sont abordées que des transformations considérées comme totales jusqu'à la classe de terminale dans laquelle l'introduction de transformations non totales conduit au concept d'équilibre chimique et à un changement de modèle. Talanquer (2015) voit l'équilibre chimique comme un concept seuil dont la non-compréhension peut empêcher toute progression des apprenants en chimie. Le premier modèle proposé pour les transformations chimiques, en cycle 4, interprète celles-ci à un niveau microscopique comme « une redistribution des atomes » (MEN, 2020, p. 99). Cependant, une focalisation trop importante sur des interprétations microscopiques peut amener à éclipser la vision macroscopique de l'étude des substances en chimie (Talanquer, 2016), cette dernière se révélant pourtant plus significative pour les apprenants confrontés à une réalité macroscopique (Taber, 2020). À l'international, plusieurs auteurs (Sjöström et al., 2020; Taber, 2020) soulignent l'importance d'une approche thermodynamique (macroscopique par essence) pour traiter des transformations chimiques des substances. Le modèle macroscopique réaction chimique tel que proposé par Kermen (2018) peut être considéré comme une première approche thermodynamique des transformations chimiques ayant pour objectif l'introduction ultérieure du concept d'équilibre chimique dans le programme de Terminale. Dans ce cadre (Kermen, 2018), la transformation chimique fait partie du registre expérimental. Une description qui peut être qualifiée de phénoménologique concerne des changements de couleur, formation de solide, de bulles, modification de la température, qui sont des événements affectant les objets de la réalité perçue. Elle est moins spécifique que la description chimique dans la réalité idéalisée, où les compositions de l'état initial et de l'état final du système considéré sont précisées en termes d'espèces chimiques. La comparaison qualitative ou quantitative (selon les données à disposition) des compositions permet de caractériser la transformation comme chimique. Ce bilan constitue la première étape de l'approche thermodynamique.

La réaction chimique est un modèle macroscopique d'une famille de transformations chimiques :

- totales, c'est-à-dire que l'une au moins des espèces introduites dans l'état initial du système est complètement consommée dans l'état final ;
- de systèmes similaires, c'est-à-dire que ce sont les mêmes espèces qui sont introduites dans l'état initial, mais dans des quantités pouvant varier.

Ce modèle permet d'unifier les régularités observées : ce sont toujours les mêmes espèces chimiques dont les quantités de matière diminuent entre l'état initial et l'état final du système, alors appelées réactifs, et ce dans des proportions invariantes. De même ce sont toujours les mêmes espèces chimiques appelées produits dont les quantités de matière augmentent de l'état initial à l'état final, dans des proportions invariantes. Ce modèle indique indirectement, c'est-à-dire en les omettant, quelles espèces chimiques n'interagissent pas alors qu'elles sont présentes dans le système. Cette différence entre le modèle et les transformations chimiques qui sont des bilans de toutes les espèces chimiques présentes dans chaque système étudié, illustre l'écart entre le modèle et la portion de réalité qu'il décrit.

Le domaine de validité du modèle, à savoir son champ d'application, correspond à l'ensemble des systèmes similaires dont l'évolution donne lieu à une famille de transformations chimiques totales interprétées ou prévues par le modèle réaction. Celui-ci permet d'expliquer ou de prévoir l'état final d'un système à partir de la donnée d'un état initial. Cette réaction est symbolisée par une équation de réaction qui comporte sous une forme synthétique toutes les informations relatives aux réactifs, produits et aux proportions dans lesquelles leurs quantités de matières évoluent.

Problématique

Le programme français de physique-chimie mis en place en classe de seconde en 2019 souligne la « place essentielle » de l'activité de modélisation (MEN, 2019, p. 4), notamment développée dans la partie relative à l'étude des transformations chimiques. Une ressource (Éduscol, 2019) complémentaire à cette partie du programme propose une démarche qui « s'appuie sur une situation développée dans le cadre de travaux didactiques par Isabelle Kermen ». Cette démarche s'apparente à ce que Sjöström et al. (2020) nomment un modèle « didaktik » de séquence ayant pour objectif de guider les choix et les réflexions des enseignants lors de la préparation et la mise en œuvre de la séquence.

Compte tenu des difficultés déjà mises en lumière (Kermen et Méheut, 2008) rencontrées par les enseignants concernant la distinction entre registre expérimental (transformation

chimique) et registre des modèles (réaction chimique), une étude des textes institutionnels (programme et ressource Éduscol) vise à déterminer en quoi ils pourraient constituer une source de réflexion et un guide pour l'action en classe lors de la modélisation des transformations chimiques, entendue au sens d'Adúriz-Bravo (2013). Nous pensons que la présence explicite dans les textes institutionnels des quatre aspects permettant de caractériser un modèle scientifique, identifiés au cours de l'analyse épistémologique, constituerait une aide essentielle pour guider les enseignants. Notre question de recherche est donc la suivante : quelle élaboration de la modélisation des transformations chimiques par les élèves les textes officiels préconisent-ils ?

Méthodologie

Nous détaillons dans cette partie l'élaboration en deux étapes de notre outil d'analyse des textes institutionnels prenant la forme d'une grille de lecture. Celle-ci est composée d'indicateurs à rechercher dans le programme et la ressource et qui permettent de repérer la prise en compte d'une caractéristique du modèle réaction chimique dans ces textes.

Caractéristiques spécifiques d'un modèle scientifique : cas de la réaction chimique

Dans cette première étape, nous repartons de l'analyse épistémologique que nous avons conduite pour aboutir aux caractéristiques générales d'un modèle scientifique. De l'analyse épistémologique, nous extrayons sept caractéristiques générales présentées dans la colonne gauche du tableau 1, nommées C1 à C7 et réparties dans les quatre aspects d'un modèle présentés précédemment (lien modèle – phénomène modélisé, pluralité, efficacité, localité).

Puis nous recherchons ce qui dans l'analyse didactique du modèle réaction chimique (Kermen, 2018) correspond à chaque caractéristique générale. Par un processus d'identification des caractéristiques C1 à C7 pour la réaction chimique, nous déduisons pour le modèle réaction chimique des caractéristiques spécifiques, colonne de droite du tableau 1.

Caractéristiques générales d'un modèle		Transposition à la réaction chimique (caractéristiques spécifiques)
Lien modèle – phénomène modélisé		
C1	Il est le modèle d'un phénomène.	La réaction chimique modélise la / les transformation(s) chimique(s), ces deux concepts sont distincts.
C2	Il laisse certains aspects du réel du côté.	Des aspects sont explicitement non pris en compte (variation de certains paramètres physiques, descriptions phénoménologiques, …).
Pluralité		
C3	Il possède un caractère unificateur.	La réaction chimique modélise les transformations chimiques de systèmes dont les états initiaux et finaux diffèrent mais dont le devenir de certaines espèces chimiques toujours présentes à l'état initial est similaire.
Efficacité		
C4	Il peut être symbolisé.	L'équation de réaction symbolise la réaction chimique. Elle contient de nombreuses informations.
C5	Il a un caractère explicatif.	La réaction chimique permet d'expliquer des observations qualitatives à partir de la nature des espèces mises en jeu ou quantitatives à partir de la stœchiométrie.
C6	Il a un caractère prédictif.	La réaction chimique permet de prévoir des observations qualitatives, à partir de la nature des espèces mises en jeu, ou quantitatives, à partir de la stœchiométrie.
Localité		
C7	Il a un domaine de validité.	Une réaction chimique ne modélise que des transformations chimiques où l'un des réactifs au moins disparaît (transformations totales) et pour des systèmes de composition qualitative similaire.

Tableau n°1 : Caractéristiques générales d'un modèle regroupées selon les quatre aspects d'un modèle - Application au modèle réaction chimique

Nous estimons par exemple que la caractéristique C7 exprimant l'existence d'un domaine de validité pour tout modèle se traduit pour le modèle réaction chimique par sa limitation à un ensemble de transformations chimiques totales pour des systèmes similaires, à savoir ayant une composition chimique qualitativement semblable.

Élaboration de la grille d'indicateurs

Dans cette deuxième étape, nous croisons les caractéristiques spécifiques du modèle réaction chimique obtenues précédemment aux acceptions de la notion de modélisation en contexte scolaire selon Adúriz-Bravo (2013) (Construction, Application, Amélioration et Apprentissage). Pour ce faire, nous élaborons, pour chacune de ces acceptions, une liste d'indicateurs *a priori* centrés sur la recherche d'actions possibles, de la part d'un enseignant,

abordant en classe une caractéristique spécifique (tableau 1) du modèle réaction chimique. Ces indicateurs proviennent d'un croisement entre la connaissance de l'analyse didactique du modèle (Kermen, 2018) et nos expériences d'observation de classe en formation ou en recherche (Kermen et Colin, 2017). L'acception Amélioration a été exclue de ce processus : le modèle réaction chimique n'est pas issu de l'amélioration d'un modèle macroscopique préexistant, ce qui serait le cas pour la modélisation des transformations chimiques non totales en classe de première et terminale (MEN, 2019b). Nous considérons pour cette étude que le processus d'Application se déroule en autonomie de la part des élèves alors que le processus d'Apprentissage se déroule conjointement avec l'enseignant. La liste des indicateurs, leur formulation et leur répartition dans les différents critères sont finalisés après accord entre les trois chercheurs. La grille complète comporte 44 indicateurs :

- 13 indicateurs pour la Construction du bilan transformation chimique (i1 à i13) ;
- 19 indicateurs pour la Construction du modèle réaction chimique (i14 à i32) ;
- 6 indicateurs pour l'Apprentissage du modèle réaction chimique (i33 à i38) ;
- 6 indicateurs pour l'Application du modèle réaction chimique (i34 à i44).

Nous ajoutons à la Construction du modèle réaction chimique celle du bilan transformation chimique qui nécessite de passer d'un fait courant (la réalité perçue) à un fait scientifique (la réalité idéalisée), objet de sciences qui nécessite un arsenal théorique pour pouvoir être traité (espèce chimique, quantité de matière, …) (Jullien, 2020).

Nous présentons un extrait de la grille complétée dans le tableau 2.

Caractéristiques	n°	Indicateurs	Programme ou Ressource
Construction du modèle « réaction chimique »			
C1 Il est le modèle d'un phénomène	i14	Annoncer la construction d'un modèle	P et R
	i15	Faire des allers et retours entre modèle en construction et bilans expérimentaux	
	i16	Utiliser le terme « réaction » comme le modèle de la transformation chimique	P et R
	i17	Faire établir la liste des réactifs	P et R
	i18	Faire établir la liste des produits	P et R
	i19	Faire établir la liste des espèces spectatrices	R
	i20	S'appuyer sur des principes théoriques pour étayer ou écarter des propositions	
	i21	Faire établir un lien (approximatif) entre des quantités de matière pertinentes dans une transformation chimique	R
	i22	Faire utiliser la conservation des éléments chimiques pour ajuster l'équation de réaction	P et R
C2 Il laisse les aspects du réel de côté	i23	Faire écarter des paramètres physiques	
C3 Il possède un caractère unificateur	i24	Faire réaliser plusieurs transformations chimiques similaires	R
	i25	Faire remarquer que les réactifs et les produits sont les mêmes pour destransformations chimiques similaires	R
	i26	Faire remarquer que les relations entre variations de quantités de matière pertinentes sont les mêmes pour des transformations chimiques similaires	R
	i27	Rechercher la relation de proportionnalité entre les variations de quantités de matière	R
C4 Il peut être symbolisé	i28	Dire que l'équation s'écrit avec les formules chimiques (des espèces)	R
	i29	Expliciter la signification des symboles + et →	
	i30	Faire le lien entre les proportions déterminées précédemment et les nombres stœchiométriques	R
C7 Il a un domaine de validité	i31	Ne pas utiliser de langage microscopique pour l'équation	R
	i32	Indiquer que seules les transformations chimiques totales sont concernées	

Tableau n°2 : Extrait de la liste des indicateurs et des caractéristiques associées limité à l'acception « Construction de la modélisation » présents dans le Programme (P) ou dans la Ressource (R)

Traitement des données à l'aide de la grille d'indicateurs

Une lecture précise des textes officiels – programme (MEN 2019a, pp. 4-8) et ressource Éduscol (2019) – ainsi que l'interprétation des intentions et prescriptions qui y figurent amènent au remplissage de la grille des indicateurs (colonne de droite du tableau 2).

Dans l'acception Construction du modèle, nous proposons par exemple pour C1 des indicateurs relatifs à l'établissement de la liste des réactifs, produits et espèces spectatrices (indicateurs i17, i18 et i19 du tableau 2). Dans le programme (MEN, 2019a), les phrases du bloc d'introduction précisant la démarche nécessaire pour obtenir les « espèces chimiques présentes dans l'état initial et qui ont réagi » et « celles présentes dans l'état final et qui ont été formées » (texte souligné dans la figure 1) nous permettent de valider les indicateurs i17 et i18 pour le programme, validation indiquée par la lettre « P ».

2. Modélisation des transformations de la matière et transfert d'énergie

L'objectif de cette partie est d'identifier et de distinguer les trois types de transformation de la matière, de les modéliser par des réactions et d'écrire les équations ajustées en utilisant les lois de conservation appropriées. Une première approche des énergies mises en jeu lors de ces trois types de transformations permet de montrer que l'énergie transférée lors d'une transformation dépend des quantités de matière des espèces mises en jeu.

L'étude des transformations chimiques, entamée au collège, est complétée par les notions de stœchiométrie, d'espèce spectatrice et de réactif limitant. L'analyse de l'évolution d'un système pour modéliser sa transformation chimique par une réaction illustre une démarche de modélisation au niveau macroscopique. Elle nécessite de mettre en place une démarche expérimentale rigoureuse pour passer :

- d'une description des modifications visibles ;
- aux espèces chimiques, présentes dans l'état initial et qui ont réagi ;
- à celles, présentes dans l'état final et qui ont été formées ;
- et enfin, à l'écriture d'une réaction rendant compte au mieux des changements observés au niveau macroscopique.

Pour que les transformations soient plus concrètes, des exemples provenant de la vie quotidienne sont proposés : combustions, corrosions, détartrage, synthèses d'arôme ou de parfum, etc.

Notions abordées au collège (cycle 4)

Transformations physiques : changement d'état, conservation de la masse, variation du volume, température de changement d'état.

Transformations chimiques : conservation de la masse, redistribution d'atomes, notion d'équation chimique, réactions entre espèces acides et basiques en solution, réactions d'une espèce acide sur un métal, mesure de pH.

Figure n°8 : Extrait du programme de Physique-Chimie de seconde (MEN, 2019a, p. 7)

En revanche, bien que les termes « espèce spectatrice » soient présents dans le bloc d'introduction de cette partie du programme (texte souligné dans la figure 1), ils ne sont pas

mentionnés dans la dite démarche et ne sont pas associés à une recommandation à destination des enseignants, ce qui nous amène à ne pas valider l'indicateur i19. Dans la ressource, une étape de la démarche proposée nommée « sélectionner les espèces chimiques qui ont réagi (réactifs) ou ont été formées (produits) » invite à « séparer les espèces chimiques en trois catégories », les « espèces réactives », les « espèces produites » et les « espèces spectatrices ». Nous validons alors, pour la ressource, les indicateurs i17, i18 et i19 par la lettre « R » dans la colonne de droite du tableau 2.

Après avoir réalisé ce travail pour l'ensemble des indicateurs, l'analyse de ceux présents ou non dans la grille de résultats nous permet de caractériser l'élaboration de la modélisation des transformations chimiques proposée par les textes officiels.

Résultats

Nous présentons dans le tableau 3 le résultat de la présence des caractéristiques générales du modèle (C1 à C7) dans le programme ou la ressource. La présence de la caractéristique est confirmée dès lors qu'au moins un indicateur associé à cette caractéristique a été validé pour le texte indiqué. Seules deux caractéristiques, C1 et C6, sont présentes dans le programme. La ressource en comporte quatre : C1, C3, C4 et C7. Les caractéristiques C2, correspondant aux aspects du réel laissés de côté, et C5, correspondant au caractère explicatif d'un modèle, n'ont été repérées dans aucun des deux textes.

Caractéristiques générales d'un modèle		Programme	Ressource
C1	Il est le modèle d'un certain phénomène	X	X
C2	Il laisse certains aspects du réel du côté.		
C3	Il possède un caractère unificateur		X
C4	Il peut être symbolisé.		X
C5	Il a un caractère explicatif.		
C6	Il a un caractère prédictif.	X	
C7	Il a un domaine de validité.		X

Tableau n°3 – Présence des caractéristiques générales d'un modèle dans les textes officiels

Nous indiquons dans le tableau 4 le nombre d'indicateurs repérés dans chaque texte pour chacune des acceptions considérées. Sur les 44 indicateurs possibles, 13 ont été repérés dans le programme et 26 dans la ressource. La majorité des indicateurs repérés pour le programme

et pour la ressource l'ont été pour l'acception Construction (du bilan transformation ou du modèle réaction).

	Nombre d'indicateurs dans la grille dont…	**… repérés dans le programme**	**… repérés dans la ressource**
Construction du bilan transformation chimique	13	7	10
Construction du modèle réaction chimique	19	5	14
Apprentissage du modèle réaction chimique	6	0	2
Application du modèle réaction chimique	6	1	0
Total	44	13	26

Tableau n°4 – Décompte des indicateurs selon les visions de la modélisation en contexte scolaire repérés pour chaque acception, dans le programme et dans la ressource

La liste des indicateurs pour la Construction du bilan transformation chimique montre qu'aucun texte ne fait de référence explicite au système chimique. De plus, tout ce qui correspond à l'exploitation de résultats expérimentaux n'est présent que dans la ressource.

L'extrait de la grille présenté dans le tableau 2 et concernant les indicateurs relatifs à l'acception Construction du modèle réaction chimique ainsi que le tableau 4 montrent que sur les 19 indicateurs possibles de cette acception, 5 ont été repérés pour le programme et 14 pour la ressource. Certains indicateurs sont absents des deux textes (i15, i20, i23, i29, i32) et plusieurs indicateurs ne sont présents que dans la ressource : ce sont les indicateurs associés aux caractéristiques C3 (caractère unificateur), C4 (le modèle peut être symbolisé) et C7 (domaine de validité).

Enfin, les indicateurs en lien avec des allers-retours possibles modèle-expérience n'apparaissent pas, ni la possibilité de prendre un appui théorique pour la modélisation. En effet, que ce soit dans le programme ou dans la ressource, le modèle réaction chimique est issu de l'observation expérimentale conduisant à la transformation chimique. Cela peut s'expliquer par la présence de la capacité exigible « Modéliser, à partir des données expérimentales, une transformation par une réaction » (MEN, 2019a, p. 8) dans le programme. L'extrait du programme figure 1 précise d'ailleurs les étapes de la démarche à

suivre. Celle-ci part de la description des observables puis des espèces présentes dans le système à l'état initial et à l'état final pour induire (absence de i20) finalement la réaction. Cette démarche linéaire (absence de i15) est illustrée dans la ressource à partir de deux exemples. Est également proposée dans la ressource la détermination des nombres stœchiométriques à partir des mesures expérimentales des quantités de matière des espèces présentes dans l'état final. Mais que ce soit dans le programme ou dans la ressource, les textes officiels n'indiquent pas comment faire pour identifier les espèces spectatrices. On peut alors s'interroger sur la possibilité d'identifier toutes les espèces chimiques présentes dans l'état final et sur la valeur des nombres stœchiométriques sans prendre appui sur un modèle permettant d'expliquer les premiers faits observables.

Discussion et conclusion

Notre analyse révèle 26 indicateurs dans la ressource, soit deux fois plus que dans le programme, mais les fonctions explicatives et prédictives du modèle ne sont pas mentionnées dans la ressource, ni le champ d'application du modèle qui est limité aux transformations totales. Pourtant, explorer les limites du modèle ou son champ d'application de façon explicite est nécessaire pour aider les élèves à voir dans le modèle un outil de réflexion (Taber, 2015) comme les études conduites par Chomat et al. (1998) et Larcher et al (1994) l'ont montré.

La démarche proposée lors de la phase de construction (transformation chimique et modèle) nous semble discutable. Elle fournit une vision purement inductive de la construction du modèle, contestable dans la mesure où l'élaboration de ce dernier repose aussi sur des considérations théoriques (Justi et Gilbert, 2002) avec des allers-retours entre modèle et registre expérimental (Chomat et al., 1988 ; Larcher et al., 1994), au moins pour la détermination des espèces spectatrices et des nombres stœchiométriques. Lors d'une situation analogue à ce que suggère le programme de seconde, à savoir l'écriture d'une équation de réaction à partir d'observations expérimentales en classe de terminale, une enseignante observée ne peut conduire une démarche purement inductive : elle s'appuie sur le principe théorique de conservation des éléments chimiques pour justifier la formation d'une espèce ionique (Kermen, 2021). On peut regretter qu'un exemple de ce type d'usage d'un élément théorique n'ait pas été rappelé dans la ressource, où le niveau de détails possibles est beaucoup plus fin que dans le programme. Cette démarche constituée d'allers-retours est caractéristique de la modélisation en sciences expérimentales. Coquidé déclare

que la seule observation de la dissection d'un petit mammifère ne permet pas de comprendre l'organisation de l'appareil digestif, cette compréhension ne s'effectue qu'à l'issue d'allers-retours entre le domaine intellectuel et le domaine empirique, ce que ne mentionnent pas la plupart des manuels scolaires (Coquidé, 2015, p. 37). Pour Blanquet et Picholle (2015, p. 48), cette « navigation » entre le modèle et le système étudié pour valider le modèle construit ou tester la validité des prévisions constitue une compétence méthodologique fondamentale de la modélisation.

Dans la mesure où les textes institutionnels ne donnent pas d'exemple d'évaluation de la notion de modèle ou de ses fonctions explicatives et prédictives, et en prenant appui sur le fait qu'il y a en général alignement des contenus d'enseignement sur les contenus des épreuves institutionnelles (Rozenwajn et Dumay, 2014), nous faisons l'hypothèse que cela n'incite pas les enseignants à faire explicitement travailler les élèves avec des modèles et à les faire réfléchir sur leurs fonctions. Nous allons donc prolonger cette étude par l'observation de pratiques ordinaires d'enseignants au moment de l'introduction du modèle réaction chimique

Bibiographie

Adúriz-Bravo, A. (2013). A 'Semantic' View of Scientific Models for Science Education. *Science & Education, 22*(7), 1593-1611. https://doi.org/10.1007/s11191-011-9431-7

Blanquet, E. et Picholle, É. (2015). Premiers contacts avec la modélisation scientifique à l'école. Dans T. Evrard et B. Amory (dir.), *Les modèles : des incontournables pour enseigner les sciences : apprendre les sciences de 2 ans 1/2 à 18 ans* (p. 45-64). De Boeck.

Chomat, A., Larcher, C., et Méheut, M. (1988). Modèle particulaire et activités de modélisation en classe de quatrième. *Aster*, *7*, 143-184. https://doi.org/10.4267/2042/9222

Coquidé, M. (2015). Modèles et modélisation dans l'enseignement scientifique. Dans T. Evrard et B. Amory (dir.), *Les modèles : des incontournables pour enseigner les sciences: apprendre les sciences de 2 ans 1/2 à 18 ans* (p. 35-44). De Boeck.

Crastes, C. et Maurines, L. (2021). Enseigner l'écoulement interne d'un fluide en France et aux États-Unis : modèles et contextes au travers des pratiques déclarées d'enseignants du supérieur. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 24, 59-85. https://doi.org/10.4000/rdst.3913

Éduscol. (2019). *Modéliser, au niveau macroscopique, une transformation chimique par une réaction chimique*. https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Physique-chimie/32/0/RA19_Lycee_GT_2-1_PHYCHI_Modeliser-macroscopique-transformation-chimique_1161320.pdf

Johsua S. et Dupin J.-J., (1993), *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Presses Universitaires de France

Jullien, V. (2020). *Ce que peuvent les sciences*. Éditions Matériologiques.

Justi, R. S. et Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education, 24*(4), 369-387. https://doi.org/10.1080/09500690110110142

Kermen, I. (2018). *Enseigner l'évolution des systèmes chimiques au lycée : Savoirs et modèles, raisonnements d'élèves, pratiques enseignantes*. Presses Universitaires de Rennes.

Kermen, I. (2021). Cadre d'analyse du savoir en chimie : mise à l'épreuve sur l'analyse de séances de classe. Dans J.-M. Boilevin et A. Jameau (dir.) *Après les 10e rencontres scientifiques… Actualité des recherches en didactique des sciences et des technologies* (p. 267-283). https://ardist.org/wp-content/uploads/2021/04/ARDIST_2018.pdf

Kermen, I. et Colin, P. (2017). Trois mises en œuvre d'une transformation chimique pour introduire le thème des piles : Des choix didactiques très contrastés. *Éducation et didactique, 11*(11-2), 187-212. https://doi.org/10.4000/educationdidactique.2772

Kermen, I. et Méheut, M. (2008). Mise en place d'un nouveau programme à propos de l'évolution des systèmes chimiques : Impact sur les connaissances professionnelles d'enseignants. *Didaskalia, 32* (77-116). https://doi.org/10.4267/2042/23981

Larcher, C. (1994). Étude comparative de démarches de modélisation. Dans équipe INRP / LIREST (dir.), *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences* (p. 9-24). INRP.

Larcher, C. (1996). La physique et la chimie, sciences de modèles. Dans J. Toussaint (dir.), *Didactique appliquée de la physique-chimie* (p. 160-178). Nathan.

Larcher, C., Chomat, A. et Lineatte, C. (1994). D'une représentation à une autre pour modéliser les transformations de la matière au collège. *Aster, 18*, 119-139. https://doi.org/10.4267/2042/8602

Larcher, C., Chomat, A. et Méheut, M. (1990). A la recherche d'une stratégie pédagogique pour modéliser la matière dans ses différents états. *Revue française de pédagogie, 93*(1), 51-61. https://doi.org/10.3406/rfp.1990.1373

Martinand, J.-L. (1992). Présentation. Dans Équipe INRP / LIREST (dir.), *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences* (p. 7-22). INRP.

Méheut, M. et Chomat, A. (1990). Les limites de l'atomisme enfantin; expérimentation d'une démarche d'élaboration d'un modèle particulaire par des élèves de collège. *European journal of psychology of education,* 417-437.

Ministère de l'Éducation Nationale. (2019a). Programme de l'enseignement de physique-chimie de la classe de seconde générale et technologique. *BOEN Spécial n°1 du 22 janvier 2019*.

Ministère de l'Éducation Nationale. (2019b). Programme de physique-chimie de terminale générale. *BOEN Spécial n°8 du 25 juillet 2019*.

Ministère de l'Éducation Nationale. (2020). Programme du cycle 4 en vigueur à la rentrée 2020. *BOEN n°31 du 30 juillet 2020.*

Morge, L. et Doly, A.-M. (2013). L'enseignement de notion de modèle : Quels modèles pour faire comprendre la distinction entre modèle et réalité ? *Spirale. Revue de recherches en éducation, 52*(1), 149-175. https://doi.org/10.3406/spira.2013.1066

Oh, P. S. et Oh, S. J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. *International Journal of Science Education, 33*(8), 1109-1130. https ://doi.org/10.1080/09500693.2010.502191

Robardet, G. et Guillaud, J.-C. (1997). *Eléments de didactique des sciences physiques*. Presses Universitaires de France.

Robert A. (2008) La double approche didactique et ergonomique pour l'analyse des pratiques d'enseignants de mathématiques. Dans F. Vandebrouck (éd.), *La classe de mathématiques : activités des élèves et pratiques des enseignants* (p. 59-68). Octarès.

Rozenwajn, E. et Dumay, X. (2014). Les effets de l'évaluation externe sur les pratiques enseignantes : Une revue de la littérature. *Revue française de pédagogie, 189*, 105-138. https://doi.org/10.4000/rfp.4636

Sjöström, J., Eilks, I. et Talanquer, V. (2020). Didaktik models in chemistry education. *Journal of chemical education*, *97*(4), 910-915. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b01034

Soler, L. (2013). Qu'est-ce qu'un modèle scientifique? Des caractéristiques du modèle qui importent du point de vue de l'enseignement intégré de science et de technologie. *Spirale - Revue de recherches en éducation*, *52*(1), 177-214. https://doi.org/10.3406/spira.2013.1067

Taber, K. S. (2015). The role of conceptual integration in understanding and learning chemistry. Dans *J. García-Martínez and E. Serrano-Torregrosa (Eds.), Chemistry Education : Best Practices, Opportunities and Trends (p.* 375-394). (Wiley-VCH Verlag GmbH&Co.

Taber, K. S. (2020). Conceptual confusion in the chemistry curriculum: Exemplifying the problematic nature of representing chemical concepts as target knowledge. *Foundations of Chemistry*, *22*(2), 309-334. https://doi.org/10.1007/s10698-019-09346-3

Talanquer, V. (2015). Threshold concepts in chemistry: The critical role of implicit schemas. *Journal of Chemical Education*, *92*(1), 3-9. https://doi.org/10.1021/ed500679k

Talanquer, V. (2016). Central ideas in chemistry: An alternative perspective. *Journal of Chemical Education*, *93*(1), 3-8. https://doi.org/ 10.1021/acs.jchemed.5b00434

Tiberghien, A. et Vince, J. (2005). Études de l'activité des élèves de lycée en situation d'enseignement de la physique. Cahiers du Français Contemporain, (10), 153-176.

Van Driel J. H. et Verloop N., (2002), Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education, International Journal of. Science Education, 24, 1255-1272. https://doi.org/10.1080/09500690210126711

Varenne, F. (2013). Modèles et simulations dans l'enquête scientifique : Variétés traditionnelles et mutations contemporaines. In Franck Varenne, Marc Silberstein (dir.), Modéliser & simuler. Epistémologies et pratiques de la modélisation et de la simulation, (Tome 1, p. 11-49). Éditions Matériologiques.

École du dehors et apprentissages … en Sciences

Daro Sabine [(1)], Bovy Emilie [(2)], Yernaux Dominique [(3)], Hindryckx Marie-Noëlle [(4)]
[(1)] Maitre assistante - Haute Ecole Libre Mosane Liège -ASBL Hypothèse – Belgique
[(2)] Maitre assistante - Haute Ecole Libre Mosane Liège -ASBL Hypothèse – Belgique
[(3)] Maitre assistante - Haute Ecole Louvain en Hainaut – Belgique
[(4)] Didactique des Sciences Biologiques – Université de Liège -ASBL Hypothèse – Belgique

Résumé

En Fédération Wallonie-Bruxelles, de plus en plus d'enseignants se lancent dans l'École du dehors et de nombreuses ressources qui y invitent présentent des activités dont les enseignants et les animateurs pourraient s'emparer. En tant que didacticiens des sciences, nous tentons de clarifier le type d'activités proposées et d'en préciser la finalité. Ensuite, nous nous demandons comment rendre les apprentissages à vivre dehors effectifs, en déterminant sous quelles conditions et avec quelles vigilances. Pour ce faire, nous menons une recherche exploratoire de type collaboratif qui associe des chercheurs-formateurs d'enseignants, des formateurs d'enseignants et des enseignants du fondamental autour d'un questionnement lié à l'exercice de cette pratique : comment utiliser le contexte de l'École du dehors pour mener des situations d'enseignement/apprentissage qui répondent aux exigences des didactiques disciplinaires en sciences ?

Introduction

L'École du dehors a le vent en poupe un peu partout en Europe (Chereau et Fauchier-Delavigne, 2019). En Fédération Wallonie-Bruxelles, de plus en plus d'enseignants se

lancent dans cette mouvance, motivés par le « manque de Nature » dans la société en général et chez leurs élèves en particulier[75]. Des associations du secteur de l'Éducation relative à l'Environnement (ErE) proposent des activités, des formations et aussi des accompagnements des enseignants sur le terrain (CRIE[76], Collectif « Tous dehors[77] »).

De nombreuses ressources, livresques ou en ligne, qui invitent à l'École du dehors, présentent des activités dont l'enseignant et les animateurs pourraient s'emparer. En tant que didacticiens des sciences, nous avons voulu, dans un premier temps, cerner le type d'activités proposées par les enseignants dans le cadre de l'École du dehors ; nous avons ensuite cherché à les catégoriser, en en précisant les finalités. Pour finir, nous nous sommes demandés comment rendre les apprentissages à vivre dehors effectifs, en déterminant sous quelles conditions et avec quelles vigilances.

Contexte

L'École du dehors : ce qu'on y fait, ce qu'on y poursuit

Depuis une dizaine d'années, le nombre d'écrits francophones qui invitent à enseigner dehors ou qui évoquent, ou plutôt alertent, sur le manque de nature, a explosé. Ces auteurs attribuent au contact avec la nature des vertus pédagogiques et thérapeutiques : les enfants qui ont une expérience de nature, qui disposent de zones de jeu naturelles, seraient plus créatifs, imaginatifs, collaboratifs, moins agressifs, plus concentrés (Ariena, 2019).

Au Canada, où les initiatives d'enseignement « *outdoor* » sont fréquentes, des chercheurs étudient l'impact de ce contexte du dehors sur l'apprentissage des élèves et montrent une corrélation positive entre cette pratique et l'apprentissage des sciences. Ayotte-Beaudet et al. (2021), à propos de ce que les élèves apprennent et comment ils l'apprennent, ont remarqué une évolution de la compréhension des concepts scientifiques, une augmentation des compétences liées à l'investigation scientifique et une plus grande connexion à la nature.

[75] d'après l'expression « nature deficit desorder » popularisée par le journaliste américain R. Louv, 2005.

[76] https://www.crie.be/?PagePrincipale

[77] https://tousdehors.be/?PageAccueil

Cette dernière, parce qu'elle est un contexte, favoriserait les apprentissages de fond et l'engagement des élèves.

Toutefois, pour un réel impact sur la qualité des apprentissages, les enseignants devraient clarifier ce qu'il y a à apprendre dehors, surtout si les méthodes vécues en classe diffèrent largement de ce qui est proposé à l'élève lors de l'École du dehors. Pour certains élèves, ce nouveau contexte peut même s'avérer être distracteur (Connac, 2021 ; Ayotte-Beaudet et al., 2021 ; Boeve-de-pauw et al., 2018). Les auteurs insistent sur la nécessité de structurer ce qui est proposé dehors et d'identifier les apprentissages visés afin que les élèves raccrochent le vécu dehors à un apprentissage effectif, notamment en sciences (Ayotte-Beaudet et al., 2021 ; Ayotte-Baudet et Potvin, 2020).

Apprendre des sciences dehors : méthodes actives et malentendus d'apprentissage

On peut rapprocher les principes pédagogiques des acteurs de l'École du dehors, qu'ils soient explicites ou implicites, des pédagogies actives et donc, appliquer les mêmes restrictions qu'envers des dérives de pédagogies actives mal comprises et mal appliquées. Cette tendance, qui donne la primauté à l'action sur la pensée, peut s'envisager de manière générale dans toutes les disciplines, mais est peut-être plus prégnante dans les disciplines scientifiques (Bernardin, 2018 ; Astolfi, 2002). L'écueil fréquent est de voir, dans certaines activités proposées, des élèves certes centrés sur l'action, mais qui, comme l'expliquent Bautier et Goigoux (2004), ne perçoivent pas les liens entre certaines tâches scolaires et leurs finalités. Connac (2021) alerte également sur les risques de malentendus scolaires, car certains élèves considèrent cette sortie dehors, à l'image de la récréation scolaire, comme un temps de pause alternatif aux moments d'apprentissages et orienté principalement vers le dépaysement et le plaisir. Wauquiez (2021)[78], en réponse aux risques énoncés ci-dessus, encourage à une alternance « dehors-dedans » pour l'organisation des apprentissages cognitifs des élèves. Cette part essentielle à mettre en place pour favoriser la secondarisation des apprentissages (Bautier et Goigoux, 2004), prise de recul sur ce que l'on a appris et

[78] Enseignante active en Suisse dans l'école en plein air, formatrice et auteur à la fondation Silvava

comment on l'a appris, est le plus souvent absente des pratiques évoquées et des ressources consultées sur l'École du dehors.

Les attendus actuels pour l'enseignement des sciences et l'École du dehors

L'école du dehors est souvent centrée sur « la construction d'une personne respectueuse de ce qui l'entoure. Il ne s'agit donc pas d'acquérir des connaissances, ni de changer des comportements, mais de s'imprégner […] affectivement de son environnement » (Girault et Sauvé, 2008, p. 10). Elle envisage également les approches pluri-disciplinaires, paysagères et pour l'environnement (résoudre des problèmes environnementaux, améliorer les conditions de vie, acquérir des connaissances sur le monde qui nous entoure…). Comme cette pratique de l'École du dehors devient de plus en plus fréquente en Fédération Wallonie-Bruxelles, il serait nécessaire qu'elle s'inscrive aussi dans les missions de l'école, définies dans les référentiels.

Quand l'on examine les nouveaux référentiels de sciences[79] de la Fédération Wallonie-Bruxelles, on peut y lire que l'apprentissage doit « outiller les élèves, futurs citoyens engagés, à relever de nombreux défis sociétaux, économiques, environnementaux et de santé. Il est attendu que la construction de connaissances ainsi que l'exercice de modes de raisonnement et de méthodes propres aux disciplines scientifiques suscitent l'envie et la possibilité chez un grand nombre d'élèves de comprendre le monde dans lequel ils vivent et éventuellement de poursuivre leur formation dans des filières scientifiques et techniques ». (Fédération Wallonie-Bruxelles, 2022, p. 18).

Ce référentiel précise également quatre visées à l'enseignement-apprentissage des sciences : apprendre les sciences, apprendre des sciences, apprendre à propos des sciences et orienter ses choix en s'appuyant sur les sciences. La démarche d'investigation y est prônée pour l'enseignement des sciences en classe de 2,5 à 15 ans : explorer une question scientifique qui a du sens pour les élèves, formuler une hypothèse explicative et proposer des pistes d'investigation, récolter des résultats et, par le débat, construire des explications et faire

[79] https://ifpc.cfwb.be/v5/documents/tc/refSCIENCES.pdf

évoluer des modèles. On voit donc que l'École du dehors peut être adaptée à ce nouveau référentiel, à condition d'en respecter les visées. Pour aider les enseignants à ce propos, un travail mené par le Consortium 4 « sciences »[80], a établi une liste des principales caractéristiques attendues pour des activités d'apprentissage en sciences (pratiquer des sciences et apprendre des sciences) (cf. Figure 1) (Daro et Hindryckx, 2022).

Cette liste s'inspire des connaissances actuelles issues des recherches en didactique des sciences[81] et de la vision socioconstructiviste de l'apprentissage partagée par les philosophes des sciences (Lhoste, 2017 ; Cariou, 2019).

Ainsi, lors du travail qui sera mené par la suite au sein du groupe de recherche collaborative, les participants partiront d'activités existantes qui pourraient nourrir le panel d'activités d'apprentissage à vivre lors de l'École du dehors. Afin de les sélectionner - ou de les améliorer - pour assurer un véritable apprentissage scientifique, ils se réfèreront à cette liste des principales caractéristiques d'une activité de sciences, pour en garantir la qualité didactique (Fig. n°1).

[80] Groupe de travail qui rassemble chercheurs et formateurs d'enseignants dans la cadre du Pacte d'Excellence, projet de réforme de l'enseignement mené en Fédération Wallonie-Bruxelles

[81] Astolfi et al., 1978 ; Astolfi et Develay, 2017 ; De Vecchi, 1987 ; Cariou, 2011 et 2015 ; Coquidé, 2016, Orange, 2012, Pautal, 2014, Robardet et Guillaud, 1997 …

Cahier des charges enseignement des sciences
Précisions des 5 critères « minimaux » pour la construction des dispositifs en sciences
Inspiré du rapport final du consortium 4 - Pacte d'Excellence- FWB – « année 1 » – décembre 2017, revu 2021

1. À propos d'un thème scientifique, bien percevoir les enjeux d'apprentissage (concepts et phénomènes sous-jacents).
   - identifier clairement les objectifs d'apprentissage (ciblés sur le niveau des élèves) et les rendre explicites pour les élèves ;
   - veiller à l'adéquation des tâches proposées et ces objectifs.

2. Mobiliser les élèves dans des problèmes scientifiques pertinents.

3. Engager les élèves dans une démarche rationnelle et explicative (qui respecte les fondements épistémologiques).
   Une activité expérimentale et/ou une observation, doivent s'accompagner d'un cadre scientifique. Elles s'insèrent dans un projet de recherche.

4. Utiliser des traces (écrites, schémas, photos, tableaux, etc.) tout au long de la démarche. Les traces sont le reflet du processus de construction du savoir.
   - les traces sont reliées par une consigne explicite à la recherche en cours ;
   - les synthèses sont dans un niveau de formulation adapté et co-construit avec les élèves ;
   - il y a une distinction entre les traces qui disent ce que l'on a fait et celles qui précisent ce que l'on a appris.

5. Prendre en compte les conceptions des élèves, repérer les obstacles éventuels à l'apprentissage (sous-entendus, à partir de questions scientifiques de type explicatif) et y revenir en fin d'apprentissage.

Figure n°1 : Tableau reprenant les principales caractéristiques attendues pour des séquences de sciences (Daro et Hindryckx, à paraître)

Question de recherche et méthodologie

Pour étudier ce thème de l'École du dehors, nous avons choisi de conduire une recherche exploratoire de type collaboratif (RC) au sens de Desgagné (1997, 2007), Bednarz, Rinaudo et Roditi (2015), qui associe des chercheurs-formateurs d'enseignants, des formateurs d'enseignants et des enseignants du fondamental, autour d'un questionnement lié à l'exercice de cette pratique. Ce dispositif a pris part dans le cadre de la formation continue des enseignants partenaires. Ces enseignants sont donc volontaires et intéressés par le sujet de l'École du dehors, qui a le vent en poupe en Belgique francophone.

Trois groupes représentant une cinquantaine d'enseignants du fondamental, des chercheurs-formateurs et des formateurs d'enseignants se sont réunis à plusieurs reprises autour de cette question de recherche : comment utiliser le contexte de l'École du dehors pour mener des

situations d'enseignement/apprentissage qui répondent aux exigences des didactiques disciplinaires en sciences ?

Après une exploration par les chercheurs de ressources publiées à destination des enseignants et animateurs et qui proposent diverses activités à mener dehors, un travail d'enquête a démarré auprès des partenaires de la recherche collaborative. Nous avons voulu percevoir non seulement leurs attentes, mais également leurs habitudes et leurs représentations du concept d'École du dehors. Un questionnaire (annexe 1) a été proposé aux participants. Il a permis de recueillir leurs caractéristiques professionnelles (ancienneté, niveau d'enseignement, formations suivies…), et de récolter des informations sur leurs pratiques, leurs attendus par rapport à cette pratique et ce qui motive leurs intentions de pratiquer l'École du dehors.

La mise en dialogue des données recueillies a permis de dresser un modèle des interactions pédagogiques qui peuvent avoir lieu lors d'une activité en dehors de la classe et d'en dégager quatre types d'activités aux finalités différentes. Celui-ci servira ensuite à situer le travail de la recherche collaborative entre enseignants et chercheurs-formateurs en centrant la préoccupation sur les activités de l'École du dehors qui présentent une finalité d'apprentissage en lien avec les prescrits scolaires, en particulier en sciences.

Résultats

Réponses au Questionnaire

Parmi les 51 personnes interrogées, 23 sont instituteurs ou institutrices en préscolaire ; 19 sont au primaire, trois dans l'enseignement spécialisé, trois font partie d'équipes de direction, une est formatrice en Haute École, un est étudiant en Haute École et enfin, une personne s'est qualifiée comme « autre ».

Selon ces enseignants, l'École du dehors permet de placer les enfants face au concret, au réel, au manipulable. Elle est un pilier pour la motivation et donne du sens à ce que l'on fait. L'École du dehors, c'est aussi se reconnecter au monde dans lequel on vit et dont on fait partie. Pour ce qui concerne les finalités poursuivies par la pratique de l'École du dehors, celles retenues par les participants sont : le plaisir, le bien-être, le vivre ensemble, le respect de soi et de l'autre ; le lien avec la nature et l'apprentissage en dehors de la classe ; apprendre autrement, par l'observation, les sens, le concret, par le mouvement, l'expérience.

Au sujet des activités à faire dehors décrites par les participants, nous voyons apparaître surtout des activités d'apprentissage par matière (28,5 % des occurrences) : rechercher les formes géométriques ou des lettres dans le village, apprendre les saisons, apprendre des nouveaux mots, faire de la psychomotricité… Puis des activités de découverte en sciences (27,2 %) : les champignons, les petites bêtes, les arbres et leurs feuilles et autres éléments de la faune et de la flore. Apparaissent aussi des activités sensorielles en éveil scientifique (24,8 %) : la nature avec nos sens, trouver son ami l'arbre, écouter les bruits, le vent… artistiques ou techniques (16,4 %) : land art, créations en 3D, teinter à l'aide des végétaux, construire un coin « classe », faire un potager… Un enseignant évoque des activités davantage liées aux apprentissages citoyens (« poser un choix et agir » dans le référentiel, Fédération Wallonie-Bruxelles, 2022, p. 44 ; « s'informer pour questionner l'impact de ses gestes quotidiens » p. 120) : limiter le gaspillage de l'eau, ramasser des déchets...

Les activités citées par les enseignants sont très peu développées dans le questionnaire écrit surtout au niveau de leurs objectifs. Il est donc difficile de savoir si elles mobilisent réellement les élèves dans la construction de savoirs disciplinaires.

Les axes en tension

Suite au constat de la diversité de ce qui se fait à l'École du dehors, nous avons cherché à répertorier ces différentes activités en catégories. Nous avons ensuite ajouté à l'ensemble ce qui serait souhaitable pour que la pratique de l'École du dehors soit aussi au service des apprentissages en sciences. Ainsi, nous avons identifié deux axes en tension. Un premier axe concerne les approches et les méthodes avec, à un pôle (Nord), l'idée d'approches informelles, de méthodes naturelles, d'activités libres, qui aboutissent à des apprentissages fortuits (ce qui se rapproche de *l'éducation par et dans l'environnement*, selon Girault et Sauvé, 2008)… à l'autre pôle, une approche « cognitive », dirigée selon des principes des didactiques disciplinaires pour des apprentissages anticipés, parfois fortuits, organisés et structurés par l'enseignant (pôle Sud) (*Éducation au sujet de l'environnement*, Girault et Sauvé, 2008).

Un second axe situe davantage le rôle du dehors comme un contexte pour faire, pour vivre ou pour apprendre (pôle Ouest) ou comme objet à vivre ou à apprendre (pôle Est).

Ainsi, cela nous permet de circonscrire quatre zones qui correspondent à des tendances types pour les activités d'apprentissage vécues dehors et auxquelles on a associé des caricatures de l'enfant (fig. n°2) :

- « Je me débrouille dehors » (zone 1 : l'enfant scout)[82] ;
- « Je me sens bien dehors » (zone 2 : l'enfant des bois)[83] ;
- « J'apprends le dehors » (zone 3 : l'enfant naturaliste)[84] et
- « J'apprends (les sciences) dehors » (zone 4 : l'enfant élève dehors)[85].

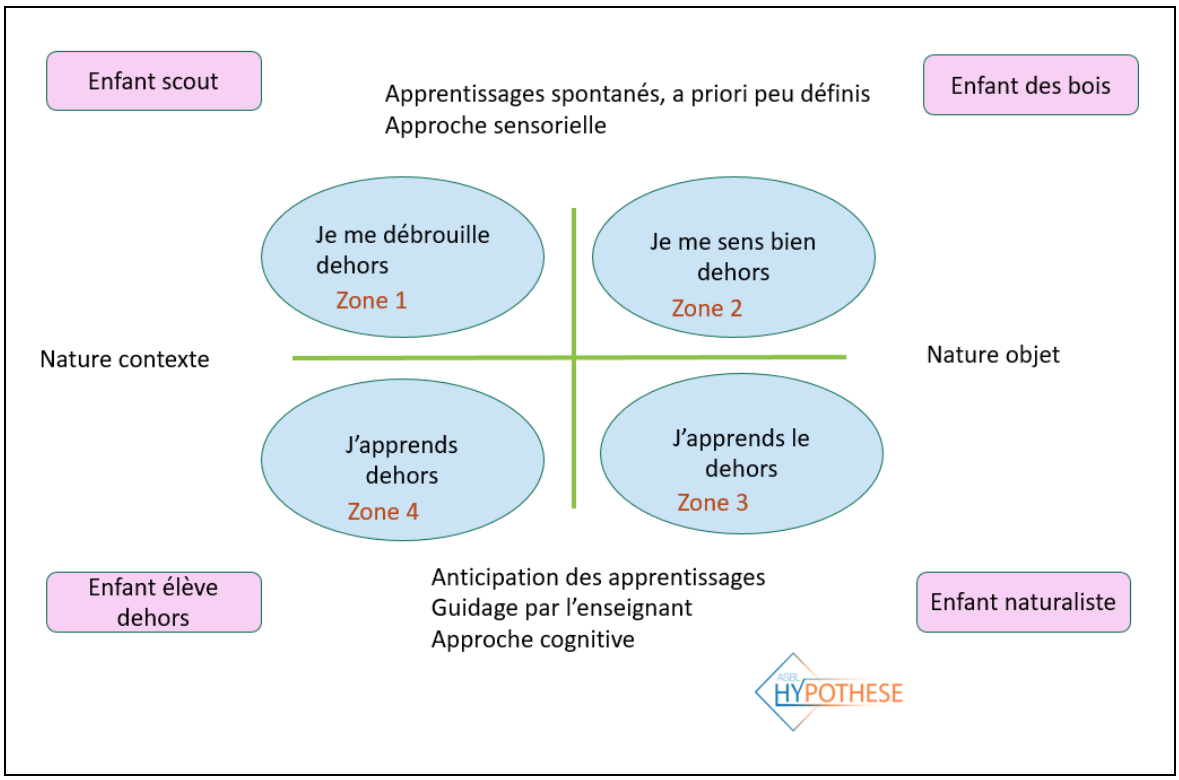


Figure n°2 : Représentation schématique de l'école du dehors, ce qui s'y vit et s'y vise

[82] À rapprocher de *l'Éducation pour l'environnement* de Girault et Sauvé (2008).

[83] À rapprocher de *l'Éducation par et dans l'environnement* de Girault et Sauvé (2008).

[84] À rapprocher de *l'Éducation au sujet de l'environnement* de Girault et Sauvé (2008).

[85] À rapprocher de *l'Éducation au sujet de l'environnement* pour acquérir des connaissances de Girault et Sauvé (2008).

Si nous considérons la discipline scientifique, la distinction entre les zones 3 et 4 est peut-être peu perceptible au premier abord. La zone 3 désigne des apprentissages liés à la description de la nature : connaitre le nom des choses, reconnaitre les objets rencontrés. On pourrait qualifier les savoirs de simples (observer/décrire/identifier…). La zone 4, quant à elle, vise des apprentissages plus complexes, en lien avec la compréhension des phénomènes scientifiques et la construction de concepts scientifiques, en exerçant les modes de pensée propre à cette discipline (questionner, mettre en relation, comprendre, expliquer, mettre à distance…).

Nous illustrons ci-dessous les différentes catégories par des exemples d'activités telles que proposés dans le guide[86] de la fondation Silviva (2019) (activités marquées ci-dessous d'un astérisque), observées sur le terrain ou encore racontées par des enseignants du groupe.

Zone 1 « Je me débrouille dehors »	• En équilibre sur un tronc*: parcourir d'un bout à l'autre une branche ou un tronc posé sur le sol, de différentes manières. • Construction en corde* : réaliser une construction en pleine nature permet de s'initier à la réalisation de quelques nœuds, ce qui stimule la motricité fine, l'observation et la mémorisation. Une fois la construction installée les enfants peuvent y grimper, s'y suspendre ou s'y balancer. • Apprendre à faire un feu et l'entretenir.
Zone 2 « Je me sens bien dehors »	• Mon espace nature* : chaque enfant cherche un endroit en plein air qui lui plait, où il se sent bien. Ce lieu peut être un arbre, un coin de jardin, un banc dans un parc. L'enfant est invité à y passer régulièrement du temps pour s'y ressourcer. Diverses activités sont proposées dont les consignes sont par

[86] L'école à ciel ouvert, 200 activités de plein air pour enseigner, de la fondation Silviva (2019)

	exemple : photographie ton espace à différentes saisons ; invente une histoire ou un poème à propos quelqu'un qui habite ton espace nature ; décris ton espace nature (couleur, son, lumière, température…).
Zone 3 « J'apprends le dehors »	• Utiliser une clé dichotomique pour déterminer les arbres à l'aide de leurs feuilles ou pour identifier les insectes. • Écouter le chant des oiseaux : reconnaitre le chant du merle parmi les chants d'oiseaux.
Zone 4 « J'apprends dehors »	• Calculer l'âge d'un arbre* : L'enseignant explique comment grandit un arbre et ce que les cernes racontent de sa vie. Puis la classe choisit une souche ou un tronc coupé et les enfants comptent les cernes pour déterminer l'âge en établissant une relation entre la taille des cernes et la croissance de l'arbre. • Mener une recherche pour savoir comment il se fait que les feuilles qui tombent en automne ne s'amoncèlent pas d'année en année : mener des observations sur le terrain et en classe pour construire une explication raisonnée et savoir expliquer la décomposition de la matière organique.

Ainsi, dans la plupart des ressources à notre disposition (guides et manuels pour enseignants et animateurs, livresques ou numériques), nous situons les activités proposées plutôt dans les zones 1 et 2 du tableau : « je me débrouille dehors » et « je me sens bien dehors » (Fig. 2.) et cela, même pour des activités annoncées comme plus formelles et disciplinaires par les auteurs. Une explication est peut-être à chercher dans les convictions et idéologies sous-jacentes chez ceux qui sont à l'initiative de l'École du dehors et qui mettent en place des outils et des accompagnements. Ainsi, l'idée de l'apprentissage naturel de l'enfant dans un milieu incitant, la primauté donnée aux approches inductives et l'importance de l'activité de l'enfant sont autant de doxas (au sens de Kahn et Belsak, 2018) qui risquent d'occulter d'autres aspects nécessaires à l'apprentissage effectif.

Lorsqu'il s'agit d'auteurs enseignants ou formateurs d'enseignants, les propositions d'activités décrivent des démarches que nous classons en zone 4 : « j'apprends dehors ». Toutefois, ces ressources sont moins nombreuses ou incomplètes au niveau de la formalisation des apprentissages. En effet, les didactiques disciplinaires y sont généralement peu convoquées : les activités de sciences semblent anecdotiques, contextualisées dehors, certes, mais décontextualisées d'un processus didactique précis.

Nous identifions là un aspect de l'exercice de l'École du dehors à questionner dans la suite de notre recherche.

Conclusions et perspectives

Au-delà de l'effet de mode, l'enjeu de la continuité, de cette mouvance intéressante qu'est l'École du dehors, nécessite que l'on se penche sur la question des types d'activités menées dehors et de leurs finalités. Notre recherche exploratoire permet de poser l'hypothèse que peu d'activités actuellement proposées par les ressources pour les enseignants et/ou menées par eux relèvent de la sphère des apprentissages scolaires en sciences ou, si elles concernent des apprentissages scolaires, ne répondent pas aux exigences didactiques disciplinaires pour conduire aux apprentissages. Un outil de communication des axes en tension pour situer les activités proposées ou vécues dehors, issu de la figure n°2 présentée ici, a été formalisé (annexe 2) afin de pouvoir l'utiliser en formation, avec les enseignants ou les futurs enseignants.

La réflexion menée dans cette recherche exploratoire a permis de mieux situer la question à placer au cœur du travail d'un groupe de recherche collaborative (RC) constitué durant l'année 2021-2022 avec différents profils : chercheurs didacticiens, formateurs d'enseignants, enseignants, animateurs de l'École de dehors. Il s'agit de répondre à la question : comment rendre les apprentissages à vivre dehors effectifs, en déterminant sous quelles conditions et avec quelles vigilances ?

Il faudra pour cela préciser les malentendus didactiques que peut engendrer le contexte du dehors. Avec comme cadre contraint des critères de qualité didactique d'une activité de sciences (cf. fig. 1) pour que les activités dites d'apprentissage scientifique mènent effectivement aux apprentissages, les participants de cette RC élaboreront ou adapteront des séquences d'apprentissage dans un processus de co-construction. Il s'agira d'identifier plus finement l'apport de l'École du dehors pour les élèves et, en conséquence, sa place dans une

démarche d'apprentissage des sciences efficace. Comme perspective d'amélioration, le groupe se penchera sur les moyens à mettre en œuvre pour contourner les limites évoquées précédemment. Une première piste indispensable est certainement de travailler les structurations intermédiaires et finales, en apportant une attention particulière à la réalisation de traces et à leur organisation au service de l'apprentissage. Cet aspect est effectivement actuellement absent des ressources proposées aux enseignants.

Cette recherche exploratoire nous montre que les enseignants doivent se ré-emparer des aspects liés aux apprentissages en sciences et étayer de leur expertise la zone 4 du schéma : « j'apprends dehors ». Sans vouloir aucunement faire une critique de la place de l'accompagnement des enseignants par des animateurs du milieu associatif dans l'exercice de l'École du dehors, nous voulons montrer qu'une complémentarité des expertises est nécessaire pour atteindre tous les objectifs ambitieux de cette initiative.

Bibliographie

Ariena (Réseau d'éducation à la nature et à l'environnement en Alsace) (2019). *Grandir Dehors. Guide pédagogique et méthodologique*. Ariena.

Astolfi, J-P. (2002). L'œil, la main, la tête – Expérimentation et apprentissage. Expérimenter, décembre 2002. *Cahiers pédagogiques*, 409. https://www.cahiers-pedagogiques.com/l-oeil-la-main-la-tete/

Astolfi, J-P. et Develay, M. (2016). *La didactique des sciences*. Que sais-je ? Septième édition. PUF.

Astolfi, J., Giordan, A., Gohau, G., Host, V., Martinaud, J., Rumelhard, G., et Zadounaïsky, G. (1978). *Quelle éducation scientifique pour quelle société ?* : Presses Universitaires de France.

Ayotte-Beaudet, J.-P., Chastenay, P., Beaudry, M.-C., L'Heureux, K., Giamellaro, M., Smith, J., Desjarlais, E. et Paquette, A. (2021). Exploring the impacts of contextualised outdoor science education on learning: the case of primary school students learning about ecosystem relationships. *Journal of Biological Education*, 1-18.

Ayotte-Beaudet, J.-P. et Potvin, P. (2020). Factors related to students' perception of learning during outdoor science lessons in schools' immediate surroundings. Interdisciplinary. *Journal of Environmental and Science Education 16*(2), e2212. https://doi.org/10.29333/ijese/7815

Bautier, E., et Goigoux, R. (2004). Difficultés d'apprentissage, processus de secondarisation et pratiques enseignantes : une hypothèse relationnelle. *Revue française de pédagogie, 148*, 89-100.

Bednarz, N., Rinaudo, J.-L. et Roditi, É. (2015). La recherche collaborative. *Carrefours de l'éducation*, *1*, 171-184.

Bernardin, J., (21 au 23 mars 2018). *Pédagogies actives : l'activité en question(s).* [Colloque international de la Commission communautaire française : Regards croisés sur les pratiques en pédagogies actives], Bruxelles.

Boeve-de-pauw, J., Van Hoof, J. et Van Petegem, P. (2018). Effective field trips in nature: the interplay between novelty and learning. *Journal of Biological Education, 53*(1), 21–33

Cariou, J.-Y. (2011). Histoire des démarches en sciences et épistémologie scolaire. *Recherches en didactique des sciences et des technologies- RDST, 3,* Institut National de Recherche Pédagogique, 83-106.

Cariou, J.-Y. (2015). Quels critères pour quelles démarches d'investigation ? Articuler esprit créatif et esprit de contrôle. *Recherches en éducation, 21*, 12-33.

Cariou, J.-Y. (2019). Histoire des démarches scientifiques. De l'antiquité au monde contemporain. Éditions Matériologiques.

Chereau, M., et Fauchier-Delavigne, M. (2019). *L'enfant dans la nature*. Fayard.

Connac, S. (2021). Les limites de l'école du dehors. Dossier Apprendre dehors. *Cahiers pédagogiques,* 570, p. 33.

Coquidé, M. (2016). Éléments rétrospectifs et perspectives pour la didactique des sciences et la didactique du curriculum, *Éducation et Didactique, 10*(3), 21-31.

Daro, S., (2022). L'école du dehors, ce qui s'y vit, ce qui s'y vise. *Symbiose, 136,* quatrième trimestre

Daro, S., et Hindryckx, M.-N. (7 et 8 juillet 2022). *Questionner les activités de sciences en pédagogies actives : comment identifier les leviers pour une secondarisation des apprentissages en pédagogie Freinet par le biais d'une recherche collaborative ?* [Enjeux sociétaux et formation de citoyens engagés : l'apport des recherches participatives au développement des modes de pensée scientifiques et génériques lors de l'enseignement-apprentissage des SVT et des « éducations à… »], Recherche en Éducation et Formation, Namur.

Desgagné, S. (2007). Le défi de coproduction de « savoir » en recherche collaborative. Dans M. Anadòn (dir.), *La recherche participative. Multiples regards.* Presses de l'Université du Québec.

Desgagné, S. (1997). Le concept de recherche collaborative : l'idée d'un rapprochement entre chercheurs universitaires et praticiens enseignants. *Revue des Sciences de l'Éducation, 23(2)*, 371-393.

De Vecchi, G. (1987). *Les Origines du savoir*. Delachaux et Niestlé.

Fondation Silviva (2019). L'école à ciel ouvert. 200 activités de plein air pour enseigner. Salamandre.

Fédération Wallonie-Bruxelles (2022). *Référentiel de sciences. Tronc commun*. Administration générale de l'enseignement. https://ifpc.cfwb.be/v5/documents/tc/refSCIENCES.pdf

Girault, Y. et Sauvé, L. (2008). L'éducation scientifique, l'éducation à l'environnement et l'éducation pour le développement durable. Croisements, enjeux et mouvances. *Aster : Recherches en didactique des sciences expérimentales, 46*(1), 7-30.

Kahn, S. et Belsack, E. (2018). Pédagogie différenciée et doxa : quand l'arbre cache la forêt. *Éducation & Formation*, e-310, 87-96.

Lhoste, Y. (2017). *Épistémologie et didactique des SVT*. Bordeaux : Presses Universitaires de Bordeaux.

Louv, R. (2005). Last child in the woods: saving our children from nature-deficit disorder, SCHOLE: *A Journal of Leisure Studies and Recreation Education, 21*(1), 136-137.

Orange, C. (2012). Enseigner les sciences. Problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe. De Boeck.

Pautal, E. (2014) *Didactique des SVT : Études de pratiques conjointes*. Presses Universitaires de Rennes.

Robardet, G. et Guillaud, J.-C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques*. Presses Universitaires de France.
Wauquier, S. (2021). On ne fait pas cours dehors comme dedans. Dossier Apprendre dehors. *Cahiers pédagogiques*, 570, p. 34.

Annexe 1 Questionnaire pour les participants à la recherche collaborative

Groupe de recherche collaborative « École dehors et apprentissages » Octobre 2021

Dans le cadre de ce groupe de recherche collaborative, nous souhaitons, au temps zéro, collecter des données pour situer *l'École du Dehors* au sein des acteurs enseignants : les motivations, les pratiques, les valeurs qui les guident. C'est pourquoi nous vous soumettons ce questionnaire « à froid ». *Les réponses sont anonymes.*

1. Niveau d'enseignement : Mat. P1-P2 P3-P4 P5-P6 autre :
2. Avez-vous déjà une pratique de l'École du dehors ? Oui – Non

   Si Oui :
   Depuis combien de temps ?
   À quelle fréquence ?
   Dans quel type d'extérieur ?
3. Cette pratique relève d'une *initiative personnelle – d'un projet pédagogique – autre* et est soutenue par *la direction – les collègues – les parents – autre*. Entourez les mentions qui vous concernent.
4. Avez-vous déjà suivi une formation à propos de l'École du dehors ? Oui – Non

   Si Oui, avec quel organisme ou formateur ?
5. Répondez aux questions suivantes en vous basant sur votre pratique ou selon ce que vous imaginez de la pratique du dehors (pour ceux qui ne s'y sont pas encore lancés) :

   C'est quoi l'École du dehors en 3 idées ? Selon moi, l'École du dehors c'est…
6. Quelles sont pour vous les finalités poursuivies par la pratique de l'École du dehors ?
7. Parmi les finalités que vous avez citées, numérotez les 2 que vous estimez les plus importantes (celle désignée « 1 » étant la plus importante).
8. *Ce que je fais/voudrais faire dehors* : décrivez 3 activités et expliquez pourquoi, d'un point de vue pédagogique, vous faites/envisagez de faire ces activités.
9. Pour chacune des activités citées ci-dessus, expliquez l'intérêt de les mener dehors plutôt que dedans.
10. Pensez-vous qu'il doit y avoir un lien entre ce qui se vit dehors et ce qui se vit en classe ? Pourquoi ?

    Si Oui, comment envisagez-vous ce lien ?
11. En tant qu'enseignant·e, qu'est-ce qui vous motive à participer à ce groupe de recherche collaborative à propos de l'École du dehors ?

Annexe 2. Un outil pour communiquer

Daro, S. (2022). L'école du dehors, ce qui s'y vit, ce qui s'y vise. *Symbiose, 136,* quatrième trimestre 2022, 10-11.

Médiation pour l'enseignement scientifique. Dans quelles conditions une formation menée par des chercheurs peut-elle répondre aux attentes et aux besoins des enseignants ?

Courdent Albine [(1)], Decroix Anne-Amandine [(2)] et Mimoune Mehdi [(3)]
[(1)] Centre Interuniversitaire de Recherche en Education de Lille, INSPE-Lille-Hauts-de-France
[(2)] Univ. Lille, Université Paris Cité, Univ Paris Est Creteil, CY Cergy Paris Université, Univ Rouen, UMR 4434 – LDAR, F-59000 Lille, France, INSPÉ Lille, Hauts de France
[(3)] Maison Pour La Science en Nord-Pas-de-Calais, INSPE-Lille-Hauts-de-France

Résumé

Le milieu scolaire est un des espaces où la médiation, opération de connexion, de traduction, peut déployer pleinement son rôle de diffusion de connaissances et de raisonnements fondés scientifiquement et toucher un jeune public. Les Maisons pour la science proposent des formations d'enseignants intégrant des dispositifs de médiation menés par des chercheurs. Nous cherchons dans quelle mesure, lors de la conception de ces dispositifs, la prise en compte des représentations des enseignants à propos des sciences et de leur enseignement par les chercheurs peut favoriser la conception de formation répondant aux attentes et besoins professionnels des enseignants. Notre recherche montre le rôle significatif de médiateur endossé par l'ingénieur de formation, lorsqu'il permet au chercheur de s'approprier les spécificités de l'enseignement des sciences pour que ce dernier puisse lui-même conduire une médiation de la sphère savante à la sphère des savoirs à enseigner.

Introduction

La médiation et la communication des savoirs scientifiques peuvent prendre de multiples formes et opérer en de nombreux endroits. Elles contribuent selon Triquet (2011) à faire circuler des idées scientifiques, à véhiculer certains types de représentations à propos de la science et de la technique, à susciter des attitudes ou à proposer de nouvelles façons d'interroger les sciences. La médiation peut être définie comme une opération de connexion entre une communauté experte et un groupe de personnes non expertes dans un domaine ciblé. Cette opération dépend de la mise en place de ce que Davidson et al. (1996) appellent une zone interprétative où s'opère une traduction du texte du savoir scientifique pour des non spécialistes.

Ligozat et Marlot (2016) utilisent quant à elles le terme d'espace interprétatif partagé entre le médiateur et son public où les savoirs scientifiques stabilisés peuvent être transmis à la faveur de formulations intelligibles pour un public ordinaire. Un des lieux où elle peut déployer pleinement son rôle et toucher un public issu de toute catégorie sociale, est le milieu scolaire. L'École, comme le soulignent Pommier et al. (2010) constitue un espace privilégié d'interactions entre la science et la société. Aussi, interroger les interactions directes ou médiées, entre des chercheurs et les acteurs de l'école constitue un axe de recherche important.

Se pose alors la question de la nature des sciences telle que l'identifient les enseignants. Les travaux de Pélissier et al. (2007) ont montré que des enseignants confirmés déclarent la similarité de leurs démarches d'enseignement du point de vue épistémologique avec les modes d'élaboration des connaissances scientifiques dans les laboratoires. Pour autant, leurs déclarations renvoient à des situations d'enseignement et non à des situations de recherche. De fait, il apparait que ce sont les conceptions des enseignants sur l'éducation, l'enseignement et l'apprentissage qui influencent leurs conceptions sur la nature des sciences (Porlan et al. 1998 ; Walter-Adams, 2016). L'ancrage de l'enseignement des mathématiques dans la sphère savante a été exploré par Chevallard (1985) qui a nommé « transposition didactique » le processus qui fait d'un objet de savoir « savant », un savoir à enseigner, puis un savoir enseigné. En sciences et technologie, Martinand (1989) introduit le concept de pratiques sociales de références pour lequel les activités « réelles » d'un groupe social identifié, tel qu'une communauté de chercheurs ou de personnes mobilisant une expertise scientifique ou technologique, peut servir de référence pour la conception ou l'analyse de

situations d'enseignement. Ainsi, la sphère de recherche devient une référence possible, non exclusive. Un premier niveau de transposition (transposition externe) se situe entre le savoir « savant » et les contenus à enseigner qui nécessite une sélection de ces contenus au sein du savoir savant. Pour Chevallard, cette sélection est opérée par la noosphère, ensemble des acteurs à l'intersection du système d'enseignement et de la société, comprenant les savants et les instances éducatives. Les interactions entre les membres de cette noosphère nous paraissent particulièrement intéressantes en tant qu'elles articulent le monde des chercheurs et celui de l'éducation, au-delà d'une simple relation de délégation à des experts de l'intervention en classe généralement mise en évidence (Pommier et al. 2010). Un deuxième niveau de transposition (transposition interne) se réalise par la transformation d'un savoir à enseigner en savoir enseigné. À ce niveau, l'enseignant est particulièrement à l'œuvre dans la construction d'une certaine image qui articule, au sein de déclarations et/ou de pratiques, des attitudes, des valeurs, des conceptions, des savoirs … sur la discipline enseignée (Delcambre et Reuter, 2002). Bisault (2010) indique que c'est aussi la manière qu'ont les enseignants d'intégrer les pratiques des chercheurs dans leurs pratiques enseignantes qui est en jeu. D'autres travaux ont montré que le renforcement des liens entre chercheurs, enseignants et élèves, contribue à donner une meilleure image des sciences, et à entretenir le goût pour les sciences et leurs apprentissages (Simmoneaux et al, 2005 ; Courdent et al. 2018). Léna et al. (2016, p 142) indiquent que la diffusion des savoirs entre ces communautés nécessite que « les connaissances se partagent, se transforment, se développent et que la transposition réalisée par les chercheurs tienne réellement compte des éléments liés à la classe : spécificité des publics, degrés de difficulté probable des élèves ». Dans la « chaîne de traduction » entre les deux communautés, tel que le formulent Frandji et Vitale (2008), les représentations des acteurs concernant les sciences, permettent d'identifier des obstacles à la transmission des contenus scientifiques. Par exemple, les enseignants signalent la difficulté pour les chercheurs d'ajuster les discours et les savoirs scientifiques aux élèves, et de tenir compte de leurs préoccupations (Pommier et al., 2010). Coppé et Tiberghien (2013, p 80) montrent, de plus, la nécessité, dans le lien entre chercheurs et enseignants « d'élaborer des outils intermédiaires, qui sont opératoires pour l'enseignement effectif et, en même temps, fondés théoriquement ».

En appui sur ces cadres, c'est bien les 2 niveaux (externe et interne) de la transposition que nous allons interroger : celle des savoirs et pratiques des chercheurs vers les enseignants et celle que les enseignants sont susceptibles de mener vers la classe.

Problématique et questions de recherche

Afin d'interroger la chaîne de diffusion des savoirs et des pratiques scientifiques qui s'établit entre des chercheurs en sciences expérimentales et le jeune public, nous avons porté notre attention sur des dispositifs qui intègrent des formes de médiation à des formations d'enseignants. Les Maisons Pour La Science (MPLS), structures fondées à l'initiative de l'Académie des sciences en 2012, en partenariat avec les rectorats, ont mis en place de telles formations. Leurs mises en œuvre visent à développer chez les enseignants une meilleure maîtrise des savoirs fondamentaux, des démarches et des raisonnements scientifiques afin de permettre aux élèves de construire des connaissances et de développer des pratiques en appui sur le travail des chercheurs. En ce sens, l'ingénieur de formation MPLS est chargé d'établir un diagnostic des besoins des formés, de concevoir et de coordonner les formations. Pour cela, il identifie un chercheur et l'accompagne dans l'élaboration des contenus de formation. L'étude conduite par Munier et *al.* (2021) au début du fonctionnement des MPLS a montré que les enseignants formés augmentaient leur temps d'enseignement des sciences, mais que l'effet sur la construction de connaissances des élèves, limité à court terme, ne perdurait pas à long terme. Les dispositifs élaborés récemment ont fait l'objet d'une évaluation menée pour l'ensemble des MPLS[87], à partir d'un questionnaire où les enseignants déclarent en particulier que les interventions des chercheurs leur permettent de proposer davantage de situations stimulant le questionnement des élèves mais qu'elles gagneraient à « transposer plus le contenu apporté par les chercheurs à des activités en classe ».

Dans cette étude nous recherchons quels sont les leviers qui permettraient à l'ingénieur de formation d'ajuster au mieux les formations pour répondre aux attentes et besoin des formés. Pour cela, nous identifions les représentations qu'ont les acteurs des sphères scientifique (les chercheurs en sciences expérimentales) et scolaire (les enseignants formés), concernant les

[87] https://maisons-pour-la-science.org/sites/default/files/mpls/national/evaluations/rapport-d-evaluation-2021.pdf

sciences, leur enseignement et la formation à l'enseignement des sciences. Nous questionnons la nature des contenus apportés par le chercheur et la ou les sphères dans lesquelles se situe son intervention. Les données recueillies et analysées sont transmises à l'ingénieur de formation et discutées avec lui. Nous faisons l'hypothèse que la prise en compte par l'ingénieur de formation des convergences et des divergences entre le chercheur et les enseignants à propos des savoirs et des pratiques à enseigner permet d'ajuster les contenus des formations aux besoins des formés

Méthodologie

De façon à mener cette étude qualitative à visée compréhensive, deux questionnaires ont été construits de la manière la plus similaire possible : un à destination des chercheurs et un à destination des enseignants. Les adaptations réalisées en fonction du public ciblé (chercheurs ou enseignants), doivent permettre d'identifier des éléments divergents et des éléments qui constitueraient des appuis pour la connexion des sphères scientifique et scolaire. Les questionnaires s'organisent selon trois domaines de questions, chacune en lien avec une des dimensions de la médiation définies par Gardiès (2012). La dimension symbolique correspond dans notre étude aux représentations de la science, de la formation et de l'enseignement scientifique (14 questions). Nous entendons par « représentations », ce que les chercheurs ou enseignants associent à ces trois domaines. La dimension technique ou logistique sera représentée par les modalités, activités, outils et supports de médiation utilisés par les chercheurs (3 questions : modalités d'action, supports de mise en œuvre, composants essentiels d'une formation). La dimension langagière porte sur les adaptations langagières potentiellement proposées par les chercheurs (2 questions). En dehors des dimensions de Gardiès (2012), nous avons ajouté au questionnaire une dimension professionnelle. Deux questions portent sur les compétences développées par les chercheurs ou les enseignants et une, uniquement pour les chercheurs, interroge la distinction entre médiation et formation. Les questionnaires ont été soumis à trois chercheurs expérimentés et à quatorze enseignants de disciplines scientifiques intervenant en second degré, après 12 heures de formation MPLS. Les chercheurs sont tous expérimentateurs, deux sont professeurs des universités, l'un en virologie, l'autre en physico-chimie, le troisième est maître de conférences en microbiologie. Les quatorze enseignants comprennent un professeur des écoles intervenant en classe spécialisée de collège pour des élèves à besoins éducatifs particuliers, douze professeurs de collège (SVT, physique-chimie ou technologie) et un professeur de physique

de lycée. L'annexe présente le questionnaire proposé aux chercheurs, celui à destination des enseignants a été construit de manière équivalente de façon à pouvoir mettre leurs réponses en vis-à-vis. Les questionnaires ont été diffusés en ligne

Notre outil d'analyse des réponses aux questionnaires s'appuyant sur les dimensions proposées par Gardiès (2012) repose sur la recherche de composantes de la « Nature of Science (NOS) et de la « Scientific Inquiry » (SI) telles qu'elles sont définies par Lederman et al. (2014) et mobilisées par Bachtold et al. (2021). La NOS, se référant au savoir scientifique établi, permet d'examiner les réponses sous les angles de la nature empirique ou théorique des savoirs, de leur caractère créatif, de leur ancrage ou usage social. En tant que processus de genèse des savoirs menés par les chercheurs au cours de leur travail, la SI donne des outils pour rechercher, dans les réponses, les traces de démarches, de questionnement, d'investigation, de procédures et de leurs effets.

Dans un premier temps nous avons transmis les analyses à l'ingénieur de formation et nous les avons discutées conjointement. L'ingénieur de formation adopte une posture neutre pour jouer son rôle de personne « interface » entre les chercheurs animant la formation et les enseignants. Dans un second temps, les résultats de ces analyses ont fait l'objet d'échanges pendant les temps de conceptions des dispositifs de formation entre l'ingénieur de formation et les chercheurs afin que ces derniers ajustent leurs interventions lors des formations.

Résultats du questionnaire

L'analyse des réponses aux questionnaires que nous présentons ici selon les trois dimensions de la médiation proposées par Gardiès (2012), permet de mettre en évidence, la perception qu'ont les chercheurs et les enseignants interrogés des sciences, de l'enseignement des sciences et de la formation à l'enseignement des sciences. Nous rappelons que cette analyse repose sur la recherche de composantes de la « Nature of Science et de la « Scientific Inquiry » (Bachtold et al., 2021, Lederman et al., 2014)

La dimension symbolique

A la question, « que recouvrent les sciences », quatre enseignants sur quatorze évoquent explicitement la pratique de démarches scientifiques alors que trois autres le font de manière plus implicite en évoquant la réponse adaptée à un problème scientifique donné. Six enseignants font apparaître des « contenus disciplinaires » comportant les savoirs mais aussi

des dimensions plus génériques comme le progrès, la découverte du monde, l'aspect concret. Ces enseignants caractérisent la démarche scientifique par son approche rigoureuse destinée à résoudre des problèmes du monde naturel, ancrés dans le réel des élèves. Ils conçoivent plutôt les sciences comme « une boîte à outils » permettant de comprendre le monde . Pour eux, la finalité des sciences se rapporte au progrès, à la compréhension du monde au bénéfice de tous et au bien-être. Les valeurs, quant à elles, concernent essentiellement le recul de l'ignorance, l'honnêteté intellectuelle et l'ouverture d'esprit.

Chez les trois chercheurs interrogés, nous voyons apparaître des réponses similaires à celles des enseignants comme l'importance de la démarche scientifique, mais ils mettent l'accent sur la réflexion, la formalisation, l'expérience et l'esprit critique. Ils sont également sensibles à la place de l'erreur dans les raisonnements. Comme les enseignants, les chercheurs insistent sur le fait que les sciences permettent une meilleure connaissance du monde. Contrairement aux enseignants qui ont une approche contextualisante des sciences (ancrée sur le quotidien des élèves), les chercheurs mettent en évidence la nécessité d'une généralisation *via* une décontextualisation (universalisme des savoirs).

En ce qui concerne la finalité des sciences, nous retrouvons, chez les deux publics, la notion de progrès mais apparaît également l'idée de prédiction des résultats. Si une valeur fondamentale commune est mise en avant, nommée « honnêteté intellectuelle » par les enseignants et « intégrité » par les chercheurs, sa visée prend deux formes différentes : la lutte contre l'ignorance pour les premiers, l'intégration à une optique plus large pour les seconds, « l'universalisme ». Un point commun entre deux chercheurs et six enseignants a été identifié, il s'agit de faire vivre une démarche s'inspirant de celle du chercheur aux enseignants. Les enseignants attirent cependant l'attention sur le fait que la démarche doit pouvoir être facilement transférable en classe. En ce sens, les chercheurs disent avoir de la difficulté à identifier une approche spécifique pour les enseignants.

Enseignants et chercheurs ont aussi été questionnés, dans une approche éducative, sur les représentations communes des sciences qu'ils aimeraient combattre. Les réponses obtenues montrent des similitudes entre certains enseignants et certains chercheurs. La complexité des sciences, dans le sens de difficulté, est mentionnée (deux chercheurs sur trois et quatre enseignants sur quatorze) ainsi que le présupposé des sciences « réservées aux hommes » (un chercheur et un enseignant). Les sciences seraient aussi reconnues comme inaccessibles et à vocation élitiste pour un chercheur et trois enseignants.

Concernant les réponses à la question sur les éléments importants à intégrer dans la classe qui proviendraient des pratiques d'un chercheur, de nouveaux consensus semblent apparaître, notamment au niveau des démarches employées tels que la démarche d'investigation et « l'essai erreur » (deux chercheurs et dix enseignants). D'autres valeurs liées au travail collaboratif semblent également émerger ainsi que l'importance de faire découvrir aux élèves les missions du chercheur, loin des représentations que pourraient s'en faire le grand public (neuf enseignants). Chercheurs et enseignants partagent globalement les finalités de l'enseignement scientifique tout au long des niveaux scolaires et les étapes pour y parvenir : leur point de vue est de partir de la stimulation de la curiosité, du questionnement, de l'observation, pour mener des raisonnements fondés sur des expérimentations et des appuis théoriques afin de construire des connaissances permettant aux élèves de saisir les enjeux sociétaux et d'envisager les métiers des filières scientifiques.

Les dimensions technique et langagière

Quand on demande aux chercheurs sous quelles formes (modalités, approches, activités) ils pensent intervenir, deux trouveraient pertinent de mener une action de formation, grâce à des démarches d'investigation actives, des visites de laboratoire, des expérimentations, des documents supports, des mises en situations ludiques, tandis que le troisième est démuni et n'identifie ni les pratiques facilitatrices, ni les obstacles à la compréhension. Il est à noter que les enseignants formulent leurs attentes vis-à-vis des chercheurs, en termes non équivoques : ils ont besoin d'outils pratiques et utiles, de matériels pour des observations orientées ou des expérimentations, d'exemples de situations concrètes, directement utilisables en enseignement.

En ce qui concerne les formulations langagières utilisées par les chercheurs lors des formations d'enseignants, deux proposent d'adapter, de connecter le vocabulaire scientifique à du langage de la vie quotidienne et le troisième ne souhaite pas adapter son langage sans justifier ses propos. Les enseignants interrogés souhaitent que, lors des formations, le chercheur utilise un vocabulaire clair et accessible qui permet d'accéder à un lexique scientifique rigoureux : « vulgarisation claire mais non dénaturante ».

Prise en compte des analyses pour la conception et la mise en œuvre de formations

Les chercheuses de cette étude ont discuté de ces résultats avec l'ingénieur de formation. Ainsi, apparaît un des rôles essentiels de l'ingénieur de formation consistant à permettre au chercheur animant la formation de s'appuyer sur les points de convergence et de divergence entre enseignants et chercheurs pour faire accéder, de manière explicite, les enseignants à des éléments de réflexion attachés au monde de la recherche. Ainsi un premier niveau de transposition didactique (Chevallard, 1985) peut être envisagé : les échanges entre le chercheur animant la formation et l'ingénieur de formation permettent de proposer des axes de conceptions et de mises en œuvre (tableau 1). Ces axes, présentés dans la deuxième colonne du tableau, correspondent à des actions identifiées comme essentielles à mener pour assurer la connexion entre les apports des chercheurs et le contexte de la classe.

Tableau n°1 : Principaux constats relevés et axes de conceptions et de mises en œuvre proposés par l'ingénieur de formation

Principaux constats issus de l'analyse des questionnaires	**Axes de conception et de mise en œuvre proposés par l'ingénieur de formation**
Dualité « contextualisation/ décontextualisation »	Immerger des enseignants dans une situation de vie et investigation à l'aide de ressources et de modélisations
Attentes « boîte à outils » VS Apports tournés vers l'universalisme	Identifier progressivement des problèmes scientifiques à résoudre Réaliser des apports scientifiques et formalisation des réponses aux problèmes identifiés
Point commun : Vivre une démarche de chercheur, avec une attention des enseignants à transférer en classe	Rechercher des documents scientifiques fiables Tâtonner pour modéliser Se confronter à l'approche essai-erreur, argumenter ses choix Créer des liens avec les pratiques de classe et les compétences professionnelles

Principaux constats issus de l'analyse des questionnaires	**Axes de conception et de mise en œuvre proposés par l'ingénieur de formation**
	Mener un raisonnement à un niveau d'adulte en formation, en phase avec des préoccupations de classe débouchant sur des contenus aux programmes et des démarches réalisables en classe.
Des aspects à combattre reconnus par tous : Sciences compliquées, réservées à une élite avec une volonté du chercheur de démystifier son activité pour donner envie à des jeunes de s'y lancer	Créer un espace interprétatif au sens de Ligozat et Marlot (2016) grâce à un langage commun aux chercheurs et aux enseignants, et transposable pour les élèves.

Suite à l'identification de ces axes de mise en œuvre, l'ingénieur de formation construit avec le chercheur une formation. Nous présentons ici la formation conçue sur le thème de l'énergie où les enseignants sont invités à travailler à partir d'une situation concrète de pratique sportive.

Un premier temps de la formation consiste à faire lancer différents objets aux enseignants (ballons, javelots) puis à modéliser les différents mouvements identifiés afin de les faire réfléchir aux transferts et conversions d'énergie en jeu. Dans un second temps de formation, les enseignants prennent le rôle de sportifs de haut niveau et doivent élaborer leur régime alimentaire en fonction des contraintes du sport choisi. Ils abordent alors le concept d'énergie métabolique.

Les enseignants identifient ainsi progressivement des problèmes scientifiques à résoudre : Comment l'énergie se renouvelle-t-elle dans le corps ? Comment calculer l'énergie apportée par un aliment ? Comment calculer les dépenses énergétiques ?

Le chercheur, préalablement sensibilisé par l'ingénieur de formation, propose aux enseignants, au cours de leur démarche, de rechercher des documents scientifiques fiables, de tâtonner pour modéliser ou encore d'aborder une approche par essai-erreur.

Il fait ensuite des apports scientifiques et formalise des réponses aux problèmes identifiés. Au fur et à mesure des apports scientifiques, le chercheur ménage des temps pour expliciter

les concepts en jeu à l'aide d'un vocabulaire ordinaire qui sera associé à un lexique scientifique. Enseignants et chercheurs sont alors amenés à prendre du recul et à analyser ensemble ce qui a été vécu au début de la formation, lors des investigations, pour créer des liens avec les programmes scolaires et les pratiques de classe Lors de cette étape, le chercheur explicite et rend visible la finalité et les contenus de ses recherches en les intégrant aux points d'attention des enseignants tels que « la nécessité de s'ancrer dans le réel des élèves » pour donner sens aux apprentissages. Cela lui permet de faire connaître son « métier » pour que les enseignants, à leur tour, transmettent des représentations justes à leurs élèves.

Discussion, conclusion

Les questionnaires à destination des chercheurs et des enseignants ont permis d'identifier les convergences et les divergences de représentations entre ces deux publics sur les sciences, l'enseignement des sciences et la formation à l'enseignement des sciences. Les résultats ont mis en évidence l'intérêt d'avoir une personne « interface », l'ingénieur de formation qui assure une fonction de médiateur auprès du chercheur menant la formation d'enseignants. En effet, l'ingénieur de formation, en se saisissant des représentations des différents acteurs, aide le chercheur à passer de l'institution scientifique dans laquelle il évolue à une institution d'enseignement (Chevallard, 1985). A cette condition, le chercheur peut réaliser sa médiation du savoir savant vers le savoir à enseigner, en entrant dans la zone interprétative (Davidson et *al*., 1996) qui établit la connexion entre les communautés. Cette première étape de la transposition didactique place les enseignants dans un contexte facilitateur pour opérer la transposition du savoir à enseigner. Nous apportons un prolongement aux travaux de Munier et al (2021) qui avaient signalé un certain décalage entre les apports des chercheurs et les préoccupations des enseignants. En effet, nous avons constaté l'importance d'établir lors des formations un lien explicite, pour les concepts comme pour les pratiques, entre les apports scientifiques abordés et leurs usages scolaires. En intégrant à ses interventions les points d'attention des enseignants tels que la nécessité de s'ancrer dans le réel des élèves, le chercheur fait ainsi connaître son métier tout en permettant aux enseignants de construire des représentations des sciences souhaitables et transposables pour les activités de classe.

Même si cette recherche présente un faible effectif de chercheurs et d'enseignants ayant répondu au questionnaire elle nous a permis de réinterroger les conditions d'une médiation par les chercheurs. Le prolongement de cette recherche serait de mesurer l'impact des

formations ainsi conçues en allant interroger et observer les enseignants dans leurs pratiques de classes.

Références bibliographiques

Bächtold, M., Cross, D. et Munier, V. (2021). How to Assess and Categorize Teachers' Views of Science? Two Methodological Issues. *Research in Science Education*, 51,1423-1435.

Bisault, J. (2010). Des moments de science à l'école primaire : quelles références pour quels enjeux ? *RDST*, 2, 53-78.

Coppé, S. et Tiberghien, A. (2013). Conception d'une formation de formateurs. In A. Tiberghien et S. Coppé (éd.). *Elements of collaborative teacher development and teacher resources: France report for European commission for S-TEAM project (FP7)* Trondheim: NTNU, 70-81.

Chevallard, Y. (1985). *La Transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné*. La Pensée Sauvage,

Courdent, A., Deligne, C. et Versele, R. (2018). *Interactions à long terme chercheurs-élèves : mécanismes cérébraux en jeu dans la mise en récit*. Actes de la 10e rencontres scientifiques de l'ARDIST, 27, 28, 29 et 30 mars 2018, Saint-Malo.

Davidson-Wasser, J. et Bresler, L. (1996). Working in the interpretative zone: conceptualizing collaboration in qualitative research teams. *Educational researcher*, 25, (5), 5-15.

Delcambre, I. et Reuter, Y. (2002). Images du scripteur et rapport à l'écriture. *Pratiques*, 113-114, 7-28

Frandji, D. et Vitale, P. (2008). *Actualité de Basil Bernstein*. Presses universitaires de Rennes.

Gardiès, C. (2012). *Dispositifs info-communicationnels de médiation des savoirs : cadre d'analyse pour l'information-documentation.* Habilitation à diriger des recherches : Sciences de l'information et de la communication, Toulouse Université de Toulouse 2-Le Mirail.

Houdement C. et Kuzniak A. (1996). Autour des stratégies utilisées pour former les maîtres du premier degré en mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, 16, 3, 289-322.

Mujawamariya, D. (2000). De la nature du savoir scientifique à l'enseignement de sciences : l'urgence d'une approche constructiviste dans la formation des enseignants de sciences. *Education et francophonie*, 28(2), 148-163.

Munier, V., Bächtold, M., Cross, D., Chesnais, A., Lepareur, C. Molvinger, K., Gurgand, M. et Tricot, A. (2021). Étude didactique de l'impact d'un dispositif de formation continue à un enseignement des sciences fondé sur l'investigation. *RDST*, 23, 109-136.

Léna, J.-Y, Julien, M.-P., Chalmeau, R., Calvet, A. et Vergnolle-Mainar, C. (2016). Les ressources en eau dans un environnement de proximité : des chercheurs dans la classe. *RDST*, 13, 133-160.

Ligozat, F., et Marlot (2016). Un espace interprétatif partagé entre l'enseignant et le didacticien est-il possible ? In F. Ligozat, M. Charmillot et A. Muller (éd.), *Le partage des savoirs dans le processus de recherche en éducation* (143-163). De Boeck.

Martinand, J.-L. (1989). Pratiques de références, transposition didactique et savoirs professionnels en sciences et techniques. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle*, 2, 23-29.

Pelissier, L., Venturini, P. et Calmettes, B. (2007, 31 mai-1er juin). L'épistémologie souhaitable et l'épistémologie implicite dans l'enseignement de la physique. De l'étude sur l'enseignement en seconde à la démarche d'investigation au collège. In *Actes des 3ièmes journées nationales inter-IUFM sur la recherche et la formation des enseignants en Epistémologie et Histoire des Sciences et des Techniques*, (ReForHST) (8-13). Caen

Pommier, M., Foucaud-Scheunemann, C. et Morel-Deville, F. (2010), De la recherche à l'enseignement : modalités de partage des savoirs dans le domaine des SVT. *RDST*, 2, 127-156.

Porlan Ariza, P., Garcia-Garcia, E, Rivero-Garcia, A. et Martin Del Pozo, R. (1998). Les obstacles à la formation professionnelle des professeurs en rapport avec leurs idées sur la science, l'enseignement et l'apprentissage. *Aster*, 26, 207-235.

Simmoneaux, L., Ducamp, C., Albe, V., Simmoneaux, J. et Hirtzlin, N. (2005, 10-15 octobre). La perception des sciences par les lycéens est-elle modifiée par la présentation par des chercheurs de leurs travaux ? *Actes des 4ème rencontres scientifiques de l'ARDIST*. Marseille.

Triquet, E. (2011). Introduction. Le récit dans la médiation des sciences et des techniques. *Culture & Musées* (18), 13-22.

Waters-Adams, S. (2006) The Relationship between Understanding of the Nature of Science ans Practice: The influence of teachers' beliefs about education, teaching and learning, *International Journal of Science Education*, 28(8), 919-944.

Annexe : Questionnaire à destination des chercheurs intervenant dans une formation de la *Maison pour la science.*

Domaine questionné	Dimension de Gardiès
Sciences	
A propos de la question « Que recouvrent les sciences ? », que vous paraît-il essentiel de faire identifier aux enseignants ?	Symbolique
• De manière générale	Symbolique
• Portant sur les finalités et les raisonnements de la recherche scientifique	Symbolique
• Concernant les contenus de connaissances	Symbolique
• A propos des outils, démarches, méthodes, situations explorées	Symbolique
• S'agissant des valeurs véhiculées	Symbolique
Quelle représentation commune des sciences voudriez-vous combattre ?	Symbolique

Domaine questionné	Dimension de Gardiès
Quels éléments trouveriez-vous important qu'un enseignant retienne de l'activité et des pratiques d'un chercheur ?	Symbolique
Enseignement	
Selon vous, quelle est la finalité de l'enseignement scientifique	Symbolique
A l'école ; Au collège ; Au lycée	
De quoi (démarche, outils, méthodes, supports) disposent les enseignants d'après vous pour enseigner les sciences ?	Symbolique
De quels éléments, apportés par un scientifique, pensez-vous qu'un professeur puisse se saisir dans ses pratiques enseignantes, pour quels objectifs ?	Symbolique
Quel pourrait être leur plus-value par rapport à des pratiques « scolaires »	Symbolique
Rôle d'un chercheur dans la formation d'enseignants	
Quels objectifs visez-vous dans une formation d'enseignants ?	Symbolique
Quelles raisonnement, démarches ou pratiques scientifiques semble-t-il nécessaire de mobiliser chez les enseignants lors d'une formation ?	Symbolique
Qu'est-ce qui va guider votre action ?	Symbolique
Quels composants essentiels vous paraît-il important de mobiliser dans une action de formation scientifique envers les enseignants ?	Technique
Sous quelles formes (modalités) paraîtrait-il pertinent de mener une action de formation ?	Technique
Qu'envisagez-vous de mettre en œuvre ? Avec quels supports, outils, objets…. ?	Technique
Quelles manières de dire sont, selon vous, facilitantes ou entravantes dans la compréhension ?	Langagière

Domaine questionné	**Dimension de Gardiès**
Comment pensez-vous gérer les formulations en langage ordinaire et en langage scientifique, selon les moments, selon les visées des échanges ou des apports ?	Langagière
Quelles compétences pensez-vous développer chez les enseignants à partir de ces formations ?	Analyse professionnelle (non incluse dans les dimensions de Gardiès)
Qu'avez-vous développé pour vous-mêmes en réalisant ces formations ?	
Quelle différence faites-vous avec une action de médiation grand public ?	

Partie 6 : Educations à, Questions socialement vives

Expériences et éducation au développement durable

Le cas du compostage des déchets à l'école élémentaire

Barroudi Aicha
Centre Interuniversitaire de Recherche en Education de Lille (CIREL), Université de Lille – France

Résumé

Depuis les années 2000, l'Education au Développement Durable (EDD) a pris de l'importance à l'Ecole. Elle se déploie tout au long du cursus scolaire, dans et entre toutes les disciplines, dont les disciplines scientifiques où il s'agit d'articuler des apprentissages scientifiques à l'EDD. Dans le but de rendre l'élève plus actif dans ses apprentissages, les programmes d'enseignement de sciences valorisent aussi la démarche d'investigation et l'expérimentation. Notre étude questionne les conditions d'articulation de la construction de savoirs scientifiques et l'EDD. Elle s'appuie sur une étude de cas en CM1 (élèves de 9-10 ans) : une séquence consacrée au rôle des vers de terre dans le compostage des déchets, où sont mobilisées des expériences. Elle met en valeur des difficultés de l'enseignante à concilier plusieurs types de préconisations : la construction de savoirs scientifiques, la mise en jeu d'une démarche expérimentale, l'EDD.

Introduction

Depuis 2004, les élèves bénéficient d'une éducation au développement durable (EDD). Elle est une composante importante de leur formation initiale, « dès leur plus jeune âge et tout au long de leur scolarité, pour leur permettre d'acquérir des connaissances et des méthodes nécessaires pour se situer dans leur environnement et y agir de manière responsable »[88]. L'EDD « ne constitue pas une nouvelle discipline. Elle se construit de façon cohérente et progressive tant à l'intérieur de chaque discipline ou champ disciplinaire qu'entre les différentes disciplines »[89]. Tous les enseignements y contribuent, dont l'enseignement scientifique. Dans les programmes récents d'enseignement de sciences de l'école primaire (2015[90] et 2020[91]), l'accent est mis sur l'articulation des apprentissages scientifiques à des questions d'EDD. Par ailleurs, les instructions officielles relatives à ces enseignements valorisent la démarche d'investigation comme une démarche pédagogique innovante qui veut rendre les élèves acteurs de leur apprentissage et où l'expérimentation, si elle est possible, occupe une place importante. Notre contribution, qui s'inscrit dans le cadre de la préparation d'une thèse de doctorat, s'intéresse à un cas qui questionne les conditions d'articulation de la construction de savoirs scientifiques et l'EDD et qui mobilise des expériences. La séquence de classe étudiée porte sur le rôle des vers de terre dans le compostage des déchets, où la classe travaille le problème « Pourquoi mettre des vers dans nos déchets ? ». Nous questionnons la manière dont l'enseignante exploite des expériences choisies tout en poursuivant des objectifs éducatifs. Après avoir présenté le cadre théorique de notre recherche, nous explicitons le savoir en jeu dans la séquence étudiée. Puis nous exposons la méthode d'analyse des données retenue avant de discuter les résultats.

[88] Bulletin officiel n°28 du 15 Juillet 2004.

[89] Bulletin officiel n°6 du 5 février 2015.

[90]https://www.education.gouv.fr/au-bo-special-du-26-novembre-2015-programmes-d-enseignement-de-l-ecole-elementaire-et-du-college-3737

[91]https://www.education.gouv.fr/au-bo-du-30-juillet-2020-programmes-d-enseignement-pour-le-primaire-et-le-secondaire-305398

Cadre théorique

L'étude des problèmes d'EDD vise à rendre l'élève capable de faire des choix. Elle « doit former à une démarche scientifique et prospective, permettant à chaque citoyen d'opérer ses choix et ses engagements en les appuyant sur une réflexion lucide et éclairée » [92]. Dans notre étude, nous nous intéressons à une séquence ordinaire (Mercier, 2008) mobilisant des expériences et articulant la construction des savoirs scientifiques et l'EDD. Notre but est de voir la fonction accordée aux expériences dans la démarche adoptée et comment elles contribuent à la construction des savoirs scientifiques et à l'EDD.

Le statut des expériences dépend de l'approche que l'on a du savoir scientifique et de sa construction. En nous référant à Orange Ravachol (2010, p. 2), nous distinguons deux logiques :

- une logique de réfutation, où le travail du problème consiste en la recherche d'une ou des solutions dont la solidité tient au fait qu'elle(s) a(ont) résisté à des mises à l'épreuve empiriques, qui peuvent passer par des expériences. Ces solutions tiennent tant qu'elles n'ont pas été réfutées.
- une logique de problématisation (Fabre et Orange, 1997), où le travail du problème scientifique conduit à la construction d'un savoir scientifique tenu par des raisons. Les savoirs scientifiques ne peuvent pas se limiter aux solutions, mais ils sont fondés sur des nécessités qui « ne viennent pas simplement de constats empiriques [parmi lesquels il peut y avoir des résultats expérimentaux] mais d'une construction critique de modèles explicatifs » (Orange, 2005, p.77). Ainsi, par son caractère problématisé, le savoir scientifique tient parce qu'il ne peut pas être autre (Reboul, 1992). Il est apodictique par opposition à un savoir assertorique limité aux solutions des problèmes.

[92] Circulaire EDD 2007. Disponible sur : https://www.education.gouv.fr/bo/2007/14/MENE0700821C.htm

A l'instar des pratiques langagières, la problématisation mobilise des pratiques empiriques (observations, expériences…) qui participent à ce qui rend les solutions des problèmes nécessaires. Dans cette optique, le recours aux expériences amène à dépasser cette fonction de mise à l'épreuve empirique.

> L'expérience n'a pas uniquement pour fonction de sélectionner négativement les hypothèses et les modèles, comme le voudrait une vision purement réfutationniste : elle informe et nourrit les idées lors de la construction des problèmes. (Orange et al., 1999, pp.109, 110).

Ainsi, « l'expérimentation, quand elle est possible, n'est scientifique que si elle entre dans un projet explicatif et critique. » (Orange, 2002, p. 2).

Le problème d'éducation au développement durable en jeu

Dans le cadre scolaire, l'étude des problèmes d'EDD vise à rendre l'élève capable de faire des choix. La finalité de l'EDD est de :

> Donner au futur citoyen les moyens de faire des choix en menant des raisonnements intégrant les questions complexes du développement durable qui lui permettront de prendre des décisions, d'agir de manière lucide et responsable, tant dans sa vie personnelle que dans la sphère publique.[93]

Dans le cadre des pratiques de classe intégrant l'EDD, des études ont cependant montré une orientation vers la promotion des « bons gestes ». L'EDD est alors déployée sous forme d'une « éducation à visée comportementaliste, le plus souvent réduite à l'apprentissage d'« éco-gestes » dans une logique béhavioriste normative ou de « bonnes pratiques » (Lange, 2014a, p. 6). De même, d'après leur analyse des représentations des étudiants et des professeurs des écoles, par rapport à l'EDD et les valeurs qui la fondent, Chalmeau et al. (2016, p. 169) ont montré que l'EDD vise l'acquisition des comportements favorables à l'environnement : « il s'agit pour les élèves ou les enfants d'acquérir des gestes, des comportements ou encore des attitudes pour préserver et protéger l'environnement » comme

[93] Bulletin officiel n°41 du 10 novembre 2011.

« fermer la lumière en sortant d'une pièce, ne pas laisser couler l'eau d'un robinet inutilement, faire du tri sélectif, … » (Lange, 2014b, p. 20).

Les problèmes reliés à l'EDD sont donc couplés à des engagements dans l'action, sans s'y limiter. Ils sont complexes parce qu'ils sont en partie « flous » et « n'offrent pas de solution unique et incontestable. Il existe plutôt une multitude de solutions et le défi consiste à dégager celle qui répondra le mieux à la situation de façon à résoudre temporairement le problème » (Fabre et al., 2014, p. 95).

Le compostage des déchets

La valorisation des déchets est aujourd'hui une préoccupation forte. La circulaire du 25 avril 2007 relative aux plans de gestion des déchets ménagers encourage la pratique du compostage individuel :

> Les priorités sont ainsi d'une part de réduire les quantités de déchets prises en charge dans le cadre du service public des déchets notamment par la prévention à la source et le développement de pratiques comme le compostage domestique et d'autre part d'augmenter le recyclage et la valorisation organique. [94]

La séquence que nous étudions s'y intéresse. Pour en saisir la complexité, nous donnons à voir d'abord quelques repères épistémologiques sur ce qu'est le compostage, en quoi consiste un lombricomposteur, et en quoi les vers de terre jouent un rôle dans la transformation des déchets organiques, en matières minérales notamment.

Compostage des déchets organiques et EDD

Le compostage des déchets organiques est abordé dans le contexte de l'EDD parce qu'il fait partie des différentes méthodes de valorisation des matières organiques. Il permet de recycler et transformer un biodéchet en un produit utilisable, « le compost ». Il est considéré comme une des solutions optimales pour résoudre les problèmes de recyclage des déchets. La

[94] Circulaire du 20 /07/2007. Disponible sur : https://aida.ineris.fr/reglementation/circulaire-250407-relative-plans-gestion-dechets-menagers

valorisation des déchets organiques par un compost a des avantages économiques et écologiques. Economiques, parce qu'elle contribue à la réduction de la quantité d'ordures ménagères et qu'elle limite le coût de la gestion des déchets organiques de la collectivité (transport, traitement). Ecologiques, parce que le compost est un produit naturel qui peut remplacer les engrais chimiques. Ainsi le compostage permet de réduire les déchets tout en améliorant la fertilité des sols. Contrairement à leur incinération ou leur enfouissement, cela contribue à préserver l'environnement. La séquence que nous étudions met un accent particulier sur le rôle des vers de terre dans le compostage des déchets organiques. Voyons selon quel processus.

Vers de terre et compostage

Le compostage est considéré comme une « pratique de gestion des déchets, mais aussi un ensemble de processus naturels présents dans le sol » (Marchal-Gaillard, 2021, p. 63) où des êtres vivants (dont les vers de terre) sont parties prenantes. Nous retenons la définition que Milliet a donnée :

> Le lombricompostage est un procédé naturel de bio-oxydation qui transforme de la matière organique en « lombricompost », une matière très semblable à l'humus ou au terreau. Le processus s'enclenche sous l'action combinée des micro-organismes mésophiles et des vers. Le produit qui en résulte est souvent appelé « or noir » car il est beaucoup plus riche en éléments nutritifs que l'engrais dû à d'autres méthodes, à la fermentation par exemple. (Milliet, 2015, p. 3).

Les déchets organiques proviennent des déchets végétaux (feuilles d'arbres, plantes……) et des déchets ménagers (épluchures de fruits et légumes, marc de café, papiers, cartons…). La décomposition des déchets fait intervenir des organismes « détritivores » que Marchal-Gaillard (2021, p. 65) a présenté comme suit :

- Les micro-organismes, organismes microscopiques comme les bactéries ou les virus.
- Les méso- et macro-organismes, visibles à l'œil nu comme les Nématodes, Collemboles, Acariens, Cloportes et les Epigés tels que

Eisenia[95] *foetida* ou *Eisenia andrei*, appelés vers rouges, vers tigrés ou vers de fumier. Ces organismes assurent l'humification du compost et se nourrissent des micro-organismes et de débris végétaux et d'autres matières organiques.

Grâce à l'action des macro et micro-organismes du sol, les déchets organiques subissent des transformations selon deux processus conjoints :

- Un processus de fragmentation et de décomposition de la matière organique fraiche en matière organique mature et stabilisée « l'or noir », qui n'est pas encore de la matière riche en sels minéraux.
- Un processus de minéralisation dû à la « digestion » des matières organiques et à leur transformation progressive en matières minérales. La température ainsi que le pH du composteur ont un impact sur la vitesse de cette minéralisation.

Ainsi, les déchets organiques sont transformés en matière organique stabilisée et en matières minérales. Ils perdent leur aspect d'origine et deviennent le compost riche en substances minérales utiles aux végétaux. Ce dernier constitue un engrais naturel et de qualité apte à nourrir les plantes et à améliorer leur croissance.

Composteur et lombricomposteur

La pratique du compostage peut être effectuée dans la nature ou dans le jardin en mettant les déchets dans un bac, en fosse ou entassés à même le sol, en laissant intervenir naturellement les organismes décomposeurs. Il existe une autre manière de compostage domestique hors-sol qui est appelée lombricompostage (pratiquée sur un balcon ou en appartement). Dans ce dernier, les organismes décomposeurs ne viennent pas naturellement, ce sont les vers *Eisenia foetida* et *Eisenia andreï* qui sont mis dedans pour assurer la transformation des déchets en lombricompost. Le ver de terre, appelé aussi lombric, est un acteur important dans l'action

[95] Les vers *Eisenia* sont des vers de terre de la famille des Lombricidés.

de décomposition des déchets et dans la fertilisation du sol. L'espèce *Eisenia* (dit « ver du fumier ») est particulièrement efficace pour le lombricompostage.

Grâce à leur système digestif caractérisé par une forte activité microbienne et en utilisant les enzymes de leur intestin, les vers de terre digèrent la matière organique en décomposition, leurs déjections forment une terre riche en éléments nutritifs (azote, phosphore, potassium, magnésium, calcium, etc.) qui constituent une composante importante de la fertilité du sol. Le lombricomposteur leur offre des conditions optimales de fonctionnement (obscurité, température, humidité, nourriture appropriée).

Ces précisions (compostage des déchets, lien avec le développement durable) étant données, il nous paraît important de prendre en compte les approches que peuvent avoir les élèves du processus de dégradation des matières organiques.

Les difficultés relatives aux conceptions des élèves sur la décomposition de la matière organique

La décomposition et la transformation de la matière organique sont des processus complexes dont la compréhension fait intervenir des savoirs en biologie, chimie et physique. La compréhension de cette transformation peut ne pas aller de soi avec de jeunes élèves. Philippot (2011, p. 47) a interrogé des collégiens qui pratiquent le compostage dans leur établissement scolaire sur les processus en jeu dans le composteur. D'après les réponses qu'elle a obtenues, les élèves ont déclaré qu'après ingestion par les détritivores, les déchets se transforment en terre. Philippot a montré que ceux-ci ne maîtrisent pas les processus mis en jeu dans la transformation des déchets pour devenir un compost riche en matières minérales. De même, Lhoste et al. (2010) ont mis en évidence les difficultés rencontrées par les élèves du sixième (début de collège) à relier la transformation de la matière organique à la formation de sels minéraux. Dans sa thèse portant sur les conceptions des élèves de l'école maternelle à propos du cycle de la matière organique lors de la pratique du compostage, Marchal-Gaillard (2021, p. 286) a porté son attention sur l'action combinée de la fragmentation des déchets par les organismes détritivores et la décomposition « intrinsèque » de ces déchets par l'action des microorganismes pour obtenir du compost. Aucun des jeunes enfants n'a mentionné la digestion ou l'excrétion par les organismes détritivores. Ces recherches nous révèlent les difficultés que peuvent avoir les élèves dans la compréhension du processus de décomposition des déchets et de leur transformation en matière minérale

utile aux plantes. Le processus de transformation de la matière organique ne donne pas en instantané des sels minéraux. Ce qui est visible pour les enfants c'est l'« or noir », marqué par la couleur sombre du compost, due à la diversité des matières organiques en décomposition. De ce fait, les élèves réduisent ce processus à une transformation en terre parce qu'ils n'envisagent pas spontanément que cette décomposition conduise à la formation d'une matière organique mature ou d'une matière minérale. Suite à ces développements, nous présentons nos questions de recherche, la séquence étudiée et la méthode suivie pour l'analyse des données.

Questions de recherche

Si nous revenons au cas que nous étudions, dans une optique de problématisation, le travail du problème du rôle des vers de terre dans le compostage des déchets ne doit pas se limiter à décrire l'action des vers de terre dans le phénomène de compostage des déchets. Il faut expliquer les processus physico-chimiques et biologiques en jeu dans le compostage et construire la nécessité de transformation des déchets organiques en matière minérale utile à la croissance des végétaux. Sous l'angle d'une investigation expérimentale portant sur ce rôle des vers de terre, nous nous demandons comment l'enseignante procède pour articuler la construction des savoirs scientifiques à l'EDD. Est-elle sur une logique de réfutation ou de problématisation ? Quelles fonctions prennent les expériences dans la construction de savoirs scientifiques et l'EDD ? Quel type de savoir est construit ? De quelle manière cette construction est-elle articulée à l'EDD ?

Présentation de la séquence étudiée

Pour notre étude de cas, nous nous intéressons à une séquence ordinaire conduite par une enseignante expérimentée. Elle porte sur le problème du rôle des vers de terre dans le compostage des déchets organiques et elle est sous la responsabilité complète de l'enseignante (le chercheur observe ce qui se déroule en classe sans intervenir dans les choix de l'enseignante).

La séquence est composée de deux séances et se déroule dans une classe de CM1 de vingt élèves âgés de 9 à 10 ans. Elle s'intègre dans la partie du programme consacrée à l'étude de « L'origine de la matière organique des êtres vivants et son devenir » (MEN, 2015, p. 191). Les connaissances et les compétences associées à l'étude de ce problème, selon les

ressources numériques des éditions Retz[96] auxquelles se réfère l'enseignante, sont les suivantes : identifier les matières échangées entre un être vivant et son milieu de vie ; comprendre l'importance d'un des décomposeurs majeurs : les lombrics ; se sensibiliser aux problèmes de gestion de déchets ; interpréter les résultats d'une expérience. Pour cette étude, les données ont été recueillies en décembre 2017. Nous disposons des enregistrements en audio de l'ensemble des deux séances, de leur transcription, du texte du savoir construit à la fin de la séquence, et des photos du tableau blanc interactif (TBI).

Dans cette séquence, l'enseignante mobilise des expériences. Nous nous proposons d'étudier comment elle les exploite dans le travail du problème choisi et en quoi elles servent l'EDD. C'est sous l'angle des difficultés auxquelles peut être confrontée l'enseignante dans la mise en place de la démarche expérimentale avec les élèves que nous analysons notre corpus.

Méthodologie d'analyse

Nous rappelons que dans notre étude de cas, nous considérons que le statut des expériences dépend de la logique que l'on adopte sur la construction des savoirs scientifiques, à savoir une logique de problématisation ou une logique de réfutation. Selon ce positionnement, dans l'analyse de notre corpus, nous donnons de l'importance aux échanges entre l'enseignante et les élèves, et nous portons plus particulièrement attention aux moments d'interprétation et d'exploitation des résultats des expériences. Nous essayons de caractériser la place accordée à l'expérimentation dans le travail des solutions. Autrement dit, nous essayons de voir dans les échanges si les moments d'exploitation des résultats des expériences ont été investis seulement dans la validation de la solution du problème (logique de réfutation) ou dans la construction des explications et des raisonnements conduisant à celle-ci (logique de problématisation). Ce qui nous permet de distinguer l'une de l'autre, est la manière dont l'enseignante gère les interactions : donne-t-elle une place à l'expression et à la discussion des idées des élèves pour faire construire les raisons de la solution (construction d'un savoir

[96] Ressources numériques de l'édition RETZ de 2016, p. 96.

apodictique), ou clôt-elle rapidement la discussion pour aller vers la validation de la solution (construction d'un savoir assertorique) ?

Pour questionner l'articulation que fait l'enseignante entre la construction de savoirs scientifiques et l'EDD, nous nous intéressons au savoir construit matérialisé par la trace écrite mémorisable, puis nous recherchons dans la démarche adoptée, notamment dans sa composante expérimentale, sur quoi repose cette trace et en quoi le texte du savoir et la démarche contribuent à une construction du savoir scientifique et à une formation au choix des élèves.

Nous faisons une description du déroulement de la séquence comme point de départ de notre analyse. Puis nous analysons la trace écrite produite à l'issue de la séquence, nous étudions et caractérisons le texte de savoir en lien avec le problème posé, puis nous remontons vers les pratiques et les activités mises en œuvre ayant permis sa construction pour voir ce qu'apportent les pratiques expérimentales dans sa production. Cela nous permet d'explorer la conception de l'enseignante par rapport à la construction du savoir scientifique, la fonction des expériences dans la démarche suivie et la nature du savoir construit. Avant d'entamer l'analyse, nous allons présenter plus précisément le déroulement de la séquence.

Description du déroulement de la séquence

Après que la classe se soit intéressée aux besoins des plantes vertes pour se développer (eau, lumière, sels minéraux, température satisfaisante), l'enseignante a projeté sur le TBI deux photos de composteurs, de jardin et d'appartement (Figure 1), sans les dénommer mais en interrogeant les élèves sur la nature et la fonction de ces objets.

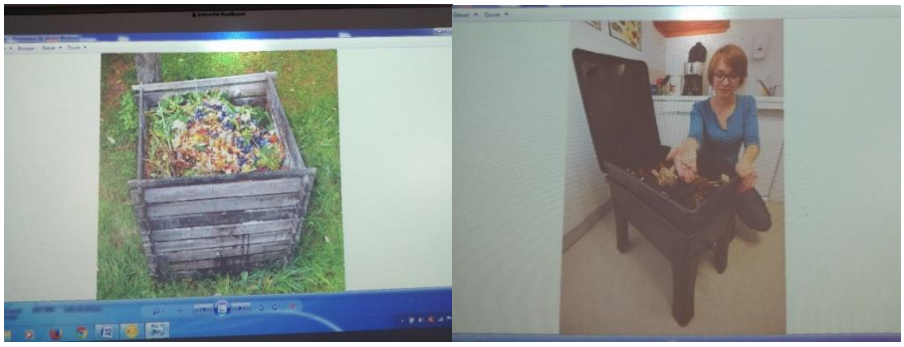


Figure n°1 : Photos des composteurs (de jardin et d'appartement)

Elle a d'abord relié la dégradation des déchets organiques domestiques dans ce dispositif aux besoins en sels minéraux des plantes. Elle a ensuite référé ce processus à l'action des

vers de terre : (19, P[97]) « c'est en appartement pour que les déchets se décomposent plus vite on va mettre des vers de terre ». Elle a introduit le terme de « composteur » et l'a défini comme étant un bac dans lequel on accumule des déchets qui se dégradent par l'action des vers de terre. L'enseignante a ainsi posé comme établi que ce sont les vers de terre qui dégradent ces déchets et les transforment en compost. L'objectif qu'elle fixe à la classe est de préciser le rôle de ces êtres vivants dans ce processus. Pour atteindre cet objectif, elle a orienté les élèves vers des expériences permettant d'y répondre.

L'enseignante a utilisé des photos des expériences avec leurs résultats qu'elle a affichées au TBI (Tableau 1). Elle a justifié son choix auprès des élèves par le fait que ces expériences demandent un temps long en termes d'obtention de résultats (19, P) « pourquoi je peux pas faire l'expérience, ben c'est simple il faut attendre deux ou trois mois avant que ça se décompose on sait même pas si ça va marcher, il fallait le faire en début de l'année par contre l'expérience a été réalisée et il y'a des résultats ». Dans son choix des expériences, l'enseignante n'a retenu que l'action des vers de terre dans le compostage des déchets, vers de terre vus comme les seuls détritivores intervenant dans ce processus naturel. Voici en quoi consistent les expériences et comment elles se sont déroulées (Tableau 1).

Expérience 1 : Dans trois récipients identiques, on a placé du terreau, du sable et au-dessus, on a déposé des feuilles d'arbre. Les récipients 2 et 3 contiennent des vers, mais pas le récipient 1. Durant trois semaines, les trois récipients ont été placés à l'obscurité et régulièrement arrosés. L'objectif que l'enseignante a fixé pour cette expérience est de mettre en évidence le rôle des vers en comparant ce qui s'est passé dans les récipients avec ver et celui sans ver de terre (témoin). Le but est de savoir si les vers mangent des feuilles d'arbre.

Expérience 2 : Dans trois récipients identiques, on a mis du terreau, du sable et des vers. Dans le récipient 1 on a déposé du papier journal, dans le récipient 2 des feuilles d'arbre et dans le récipient 3, des morceaux de sacs plastique. Les trois récipients ont été placés deux mois dans l'obscurité. Le but de cette expérience est de savoir la nature des déchets que les vers sont en capacité de dégrader. Elle permet de voir si les vers de terre sont capables de

[97] P = Professeure

décomposer des matières différentes des feuilles. Le tableau ci-dessous montre les photos des expériences et leurs résultats, affichées au TBI :

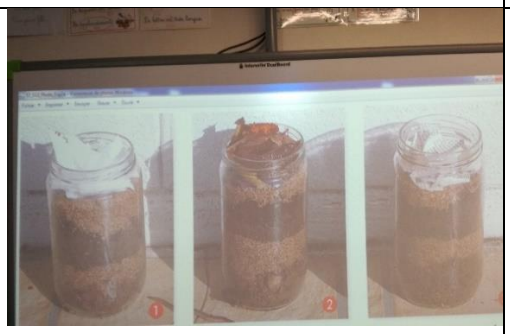
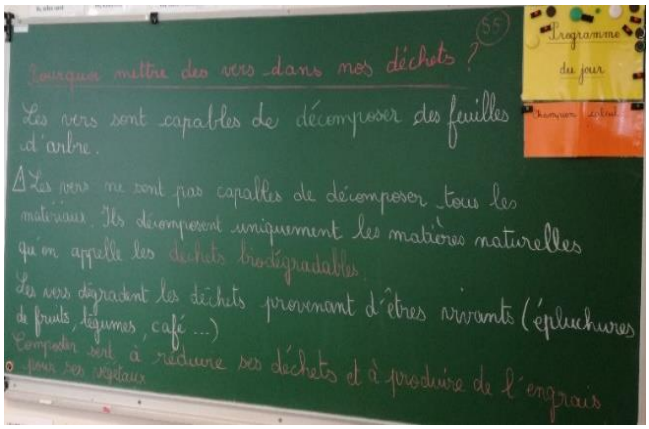
<table>
<tr><th>Expériences</th><th>Dispositif initial</th><th>Résultats</th></tr>
<tr><td>Expérience 1</td><td>
1 : Terreau, sable, plusieurs feuilles d’arbre.
2 : Terreau, sable, un ver de terre (VdT), plusieurs feuilles d’arbre.
3 : Terreau, sable, plusieurs vers de terre, plusieurs feuilles d’arbre.</td><td>
1 : Terreau, sable, plusieurs feuilles d’arbre.
2 : Terreau, sable, un VdT, une seule feuille d’arbre.
3 : Terreau, sable, plusieurs VdT, aucune feuille d’arbre.</td></tr>
<tr><td>Expérience 2</td><td> 
1 : Terreau, sable, VdT, morceaux de papier journal.
2 : Terreau, sable, VdT, plusieurs feuilles d’arbre.
3 : Terreau, sable, VdT, morceaux de sacs plastiques.</td><td>
1 : Terreau, sable, VdT, aucun morceau de papier journal.
2 : Terreau, sable, VdT, aucune feuille d’arbre.
3 : Terreau, sable, VdT, morceaux de sacs plastiques.</td></tr>
<tr><td colspan="3">L’idée est de faire des comparaisons deux à deux des récipients. Par exemple, dans la première expérience, la seule différence entre le récipient 1 et le récipient 2 est qu’il y’a un vers de terre dans le 2. Donc le raisonnement est de dire que la seule différence au départ explique le résultat, c’est-à-dire que la disparition des feuilles dans le récipient 2 est due au ver de terre qui a mangé une partie des feuilles.</td></tr>
</table>

Tableau n°1 : Les deux expériences affichées au TBI

Résultats d'analyse

Le texte du savoir visé par l'enseignante

Après une interprétation rapide et en collectif des résultats des expériences, la trace écrite mémorisable est inscrite au tableau par l'enseignante. La figure 2 donne à voir le texte de savoir auquel a abouti la classe et sa transcription. En termes de savoirs scientifiques, ce texte met l'accent sur la capacité des vers de terre à transformer sélectivement des matériaux : décomposition des feuilles d'arbres, des matières naturelles ; dégradation de déchets provenant d'êtres vivants (épluchures de fruits, légumes, café, …). En termes d'EDD, ce résumé se clôt sur l'utilité du compostage. Voyons de quelle manière ce texte se rattache ou non à ce qui s'est fait dans la démarche, notamment aux expériences.



Le texte de savoir visé par l'enseignante

Pourquoi mettre des vers dans nos déchets ?[98]

Les vers de terre sont capables de décomposer des feuilles d'arbre.

(Attention !) Les vers ne sont pas capables de décomposer tous les matériaux. Ils décomposent uniquement les matières naturelles qu'on appelle les **déchets biodégradables.**

Les vers dégradent les déchets provenant d'êtres vivants (épluchures de fruits, légumes, café, …).

Composter sert à réduire ses déchets et à produire de l'engrais pour les végétaux.

Figure n°2 : Le texte de savoir construit

[98] Rouge au tableau, surligné par nous en gras.

De la trace écrite aux expériences

Décomposition par les vers de terre

La trace écrite (figure 2) indique d'abord que « Les vers de terre sont capables de décomposer des feuilles d'arbre ». Si l'on se reporte au déroulement de la séance, on note qu'elle est directement liée à la « lecture » fortement dirigée des résultats de l'expérience 1. Voici un extrait des échanges :

283	Prof	Donc là on avait déjà la feuille, on s'est aperçu qu'elle avait disparu, là on a mis un seul vers de terre, et là regardez il y'en a plusieurs vers de terre. Donc ici elle n'a pas bougé cette feuille car il n'y avait pas de vers de terre.
284	Roxane	Le meilleur c'est le trois.
285	Prof	Oui.
286	Roxane	Au premier ça n'a pas marché comme il n'y avait pas de vers de terre.
287	Prof	Oui.
288	Roxane	Le deuxième comme il n'y'avait qu'un on voit encore qu'il reste.
289	Prof	Mais ça a fonctionné mais ça prend plus de temps, et là ?
290	Roxane	**Il a tout mangé[99].**
291	Prof	**Là la feuille d'arbre elle a disparu, en effet le ver a fait son travail.** Donc ici ça n'a pas bien fonctionné ici ça a fonctionné mieux il faudrait plus de vers, et ici en effet le ver de terre a bien joué son rôle ok.

Cet extrait nous montre que l'enseignante est plutôt sur une logique de réfutation/validation. En effet, elle s'en tient aux éléments de l'expérience qui valident la « bonne » solution à la question posée. Elle donne peu la parole aux élèves et clôt rapidement les échanges dans la mesure où ce que montre l'expérience, qu'elle ramène à la description de l'action des vers de terre vis-à-vis des feuilles, répond pour elle à la question posée. La classe reste sur la

[99] Gras, surligné par nous.

disparition des feuilles d'arbre, sans mention des processus de décomposition ou de transformation qui pourraient les affecter.

La mise en garde sur l'alimentation sélective des vers de terre

La trace écrite comporte une mise en garde de l'enseignante marquée par le panneau Attention ! qui signale que « Les vers ne sont pas capables de décomposer tous les matériaux. Ils décomposent uniquement les matières naturelles qu'on appelle les déchets biodégradables ». Cela renvoie à l'expérience 2, au cours de laquelle des vers de terre ont été mis en présence de feuilles, de plastique, de papier journal. Voici un extrait des échanges :

312	P	Réfléchissez, Océane il va se passer quoi là ? Donc les vers qu'est-ce qu'ils vont faire **? Ils vont manger quoi ?** parce qu'il y'a du plastique il y'a du journal il y'a des feuilles d'arbre ?
313	Océane	**Les feuilles d'arbre.**
314	P	Ah ils vont manger les…
315	Maxime	Les feuilles d'arbres.
316	P	Est-ce qu'ils vont manger le plastique et le journal ?
317	La classe	Non.
318	P	Pourquoi ?
319	Matys	**Parce que ça se mange pas.**
320	Jérémy	On essaye.
321	P	**C'est pas des déchets organiques.**
322	Elif	Alimentaires.

Alors que les résultats de l'expérience sont particulièrement lisibles, l'enseignante se détourne de la détermination directe du régime alimentaire des vers de terre pour « ce qui se mange » ou « ne se mange pas » et sur la nature des produits mis dans le dispositif. Ainsi, les deux expériences ont servi à la validation et à l'orientation vers la « bonne » solution au problème. Les échanges dans la classe ne donnent pas à voir des moments de construction des raisons qui soutiennent la « solution ».

Des reformulations dans la trace écrite

Nous nous interrogeons enfin sur la présence dans la trace écrite d'un vocabulaire qui ne semble pas appartenir au registre de langage courant des élèves. Ainsi en est-il du verbe

« décomposer ». L'étude des échanges entre l'enseignante et les élèves montre qu'il s'agit de la récupération d'un terme émis à un autre moment par un seul élève qui l'a ponctuellement employé sans qu'il soit repris ensuite par la classe dans les échanges.

308	P	Qu'est-ce qu'on va vouloir là dans cette expérience ?
309	Théo	On va mettre un ver de terre dedans et on va voir ce qui **se décompose** le plus vite.
310	P	Oui alors Théo dit, on va faire la même chose on va mettre un ver de terre et voir ce qui se décompose le plus vite, oui alors à votre avis qu'est ce qui va se passer ?
311	Théo	Les feuilles d'arbre.

Aussi, l'adjectif « biodégradable » est une reformulation imposée par l'enseignante :

335	P	Alors les vers ne sont pas capables de décomposer tous les matériaux ils décomposent uniquement des matières naturelles **qu'on appelle des déchets biodégradables ok.**

L'EDD, vers une inculcation des « bons » gestes

La trace écrite est clôturée par l'expression « Composter sert à réduire ses déchets et à produire de l'engrais pour ses végétaux ». Si l'on se reporte au déroulement de la séance, on note que cela renvoie à une orientation vers de « bons » gestes. Les éléments relatifs à l'EDD apparaissent dans de courts moments de la séquence et dans un premier temps lorsque l'enseignante montre les photos des composteurs aux élèves. Elle les interroge sur l'intérêt de pratiquer le compostage domestique. Sans laisser beaucoup parler les élèves, ses interventions se limitent ensuite à quelques affirmations valorisant l'obtention d'une « bonne terre » utile pour les plantations. Nous donnons quelques exemples :

158.P. Je récupère en fait une espèce de terre qui est utile pour faire du jardinage.

181.P. C'est une nouvelle manière de recycler ses déchets.

185. P. Donc cette terre après elle est riche en minéraux et elle peut servir à faire du jardinage […] c'est mieux que de l'engrais c'est beaucoup plus naturel.

197. P. C'est bien c'est pour gérer les déchets déjà on met moins de déchets dans la poubelle ça vous dire qu'on pollue moins […] c'est un geste écologique.

L'EDD apparait enfin au moment de construction de la trace écrite lorsque l'enseignante fait la conclusion « 341. P. Alors composter à quoi ça sert ? En fait composter sert à réduire ses déchets, à jeter moins dans la poubelle, […] donc composter sert à réduire ses déchets et à produire de l'engrais pour les végétaux pour son propre jardin ».

Synthèse des résultats

Vu la complexité de la mise en place de ce type d'expériences en classe, l'enseignante a fait le choix d'exploiter des photos avec résultats parce qu'elles illustraient le processus de la décomposition des déchets organiques par les vers de terre. De par ses caractéristiques notamment temporelles, l'expérimentation n'a pas impliqué les élèves : ils n'ont pas pu réellement mettre en place les expériences. Ainsi, les élèves sont-ils observateurs d'expériences déjà faites et « comprimées » dans le temps. Leur rôle consiste à interpréter leurs résultats projetés sur le TBI.

Un fort guidage domine les activités proposées par l'enseignante qui tente de recentrer et recadrer l'attention de la classe sur ce qu'elle veut être partagé par les élèves. Aussi, la fermeture parfois trop rapide de la discussion donne à certains énoncés un statut de vérité que les élèves acceptent, à la manière d'un savoir préconstruit. La dimension argumentative dans l'interprétation des résultats des expériences est finalement absente. L'enseignante était sur une logique de validation / réfutation. Dit autrement, la solution au problème est bonne parce que les résultats des deux expériences la valident. Cela nous amène à dire qu'aux termes de la construction de savoirs scientifiques, la conduite de la séquence a abouti à « la bonne solution » du problème et à la construction d'un savoir assertorique.

Parce qu'elle concerne des processus non visibles à l'œil nu, la décomposition des déchets est un phénomène complexe à comprendre par des élèves de l'école élémentaire. Le processus de compostage des déchets organiques renvoie dans la séquence aux affirmations « les vers de terre mangent les feuilles d'arbre », « les vers de terre décomposent les déchets naturels », tandis que le processus de transformation de la matière organique en matière minérale est mis à l'écart. Ce constat rejoint les résultats que Philippot (2011) et Marchal-Gaillard (2021) ont obtenus dans ce contexte.

Discussion

Le processus de dégradation de la matière organique prend du temps. En regardant les photos des résultats des expériences, ce qui est visible par les élèves, ce sont des changements de couleur des déchets organiques. Les élèves comprennent qu'il y a eu une transformation des déchets mais sans comprendre en quoi ils se transforment. Cette étude de photos projetées gagnerait à être complétée par des visites régulières de composteurs où les élèves pourraient se familiariser avec ce qu'il s'y passe dedans.

Pour ce qui est de l'EDD, ramener le processus de décomposition des déchets organiques à des finalités d'EDD à ce stade d'enseignement nous semble assez compliqué (Fabre et al., 2014). Tout comme les résultats que d'autres chercheurs ont obtenus dans le contexte d'intégration de l'EDD dans le cadre scolaire (Lange, 2014a ; Barthes et Alpe, 2013), l'étude de ce problème se rabat vers une forme d'inculcation de « bons gestes » sans suffisamment prendre la mesure de la complexité des savoirs sous-jacents et de la signification des actes au regard de ces savoirs. On peut se demander ce qu'il est possible de faire avec de jeunes élèves pour qu'ils s'approprient les raisons qui donnent à la pratique du compostage une importance forte dans la fertilisation du sol et la préservation de l'environnement.

Conclusion

Cette étude de cas montre des difficultés que peuvent avoir des enseignants, même expérimentés, à prendre en compte et à concilier plusieurs types de préconisations (la construction de savoirs scientifiques, la mise en jeu de démarche expérimentale avec implication des élèves, l'éducation aux choix), qui plus est dans des contraintes temporelles qui s'exercent à tous les niveaux (temps limité de la classe, temps parfois long des expériences, temps de l'éducation). Ces difficultés peuvent aussi se rapporter à la complexité des savoirs en jeu et à la complexité des expériences-elles mêmes. Au final, le risque est grand de dériver vers de l'inculcation en termes de savoirs, vers un trajet rapide censé caractériser les démarches scientifiques, et une EDD rabattue sur des slogans. Ces difficultés méritent d'être développées, ce que nous envisageons de faire par l'étude d'autres séquences articulant la construction des savoirs scientifiques et l'EDD.

Bibliographie

Barthes, A. et Alpe, Y. (2013). Le curriculum caché du développement durable. *Penser l'éducation,* Laboratoire CIVIIC, *20*, 101-121.

Fabre, M. et, Orange, C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *Aster*, 24, 37-57. https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1997_num_24_1_1093

Fabre, M., Weil-Barais, A. et Xypas, C. (2014). *Les problèmes complexes flous en éducation : Enjeux et limites pour l'enseignement artistique et scientifique.* De Boeck Supérieur.

Lange, J.-M. (2014a). Pour un curriculum de l'éducation au développement durable : entre actions de participations et démarches multi-référentielles d'investigation d'enjeux. Rapport aux savoirs, éducation relative à l'environnement et au développement durable. *Éducation Relative à l'Environnement : Regards-Recherche-Réflexions, 11*, 41-60.

Lange J-M. (2014b). Des dispositions des personnes aux compétences favorables à un développement durable : place et rôle de l'éducation. In Diemert, A. et Marquat, C. *Education au développement durable Enjeux et controverses.* de Boeck éditions. pp. 163-182.

Lhoste, Y., Peterfalvi, B. et Decussy, C. (2010). Expérience de la problématisation et obstacles chez des élèves de sixième. Recyclage de la matière organique dans le sol. Dans M. Fabre, A. Dias de Carvalho et Y. Lhoste (Eds.). *Expérience et problématisation en éducation. Aspects philosophiques, sociologiques et didactiques,* 157-180. E. Afrontamento.

Marchal-Gaillard, V (2021). *Etude de l'acculturation scientifique d'enfants de maternelle pour une éducation à l'environnement et au développement durable : conceptions d'enfants de cinq ans sur le cycle de la matière organique, et modalités de transmission lors de pratiques familiales de compostage*. Thèse de doctorat en Sciences de l'éducation. Université de Bretagne occidentale. https://theses.hal.science/tel-03662555

Mercier, A. (2008). Pour une lecture anthropologique du programme didactique. *Education et didactique, 2*(1), 7-40. https://www.cairn.info/revue-education-et-didactique-2008-1.htm

Milliet, J. (2015). Le lombricomposteur d'appartement, les déchets et la terre urbaine. *Revue d'ethnoécologie*. http://journals.openedition.org/ethnoecologie/2305

Orange, C. (2002). L'expérimentation n'est pas la science. *Cahiers Pédagogiques*, n°409, 19-20.

Orange, C. (2005). Problématisation et conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques. *Les Sciences de l'éducation, Pour l'ère nouvelle*, 38 (3), 69-93.

Orange, C., Beorchia, F., Ducrocq, P. et Orange Ravachol, D. (1999). "Réel de terrain", "Réel de laboratoire" et construction de problèmes en sciences de la vie et de la terre. *Aster*, 28, 107-129. https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1999_num_28_1_1143

Orange Ravachol, D. (2010). Efforts de problématisation et choix en situation : cas d'enseignants expérimentés et moins expérimentés. Quelle place pour la problématisation ? In M. Fabre, A. Dias de Carvalho et Y. Lhoste, Eds (2010). *Expérience de problématisation en éducation, Aspects philosophiques, sociologiques et didactiques*.135-155. E. Afrontamento.

Philippot, V. (2011). *Approche ethnologique de la pratique du compostage collectif citadin. Les vertus citoyennes à l'épreuve de l'enquête*. Mémoire de Master, Muséum National d'Histoire Naturelle et AgroParisTech https://www.ecoanthropologie.fr/sites/eae/files/atoms/files/2018/08/memoire_veronique_philippot.pdf

Chalmeau, R., Julien, M. et Léna, J. (2016) « Les valeurs dans les représentations de l'éducation au développement durable chez des étudiants et des professeurs des écoles », *RDST*. http://journals.openedition.org/rdst/1442

Reboul, O (1992). *Les valeurs de l'éducation*. PUF.

Les enseignants français de SVT face au devoir de neutralité lors de l'enseignement de la théorie de l'évolution

Germann Benjamin [(1)], Panissal Nathalie [(2)]
[(1)] EFTS, UT2-INSPE – France
[(2)] EFTS, ENSFEA – France

Résumé

Les programmes d'enseignement de sciences préconisent, dès le cycle 2, de distinguer en classe les connaissances des croyances. L'enseignement de la théorie de l'évolution (TdE) peut induire, en raison de frictions entre discours scientifique et croyances religieuses, une certaine vivacité scolaire. Cette étude exploratoire vise à comprendre comment des enseignants de SVT parviennent à concilier la prévalence en classe du registre épistémique sur le registre doxastique dans l'enseignement de la TdE avec leur devoir de neutralité. Le matériau empirique s'appuie sur un questionnaire auprès de dix enseignants de SVT. Les conceptions naïves du devoir de neutralité rendent difficile pour ces enseignants une telle justification.

Introduction

Les programmes de l'École promeuvent certains registres axiologiques au détriment d'autres. Par exemple, la valeur d'égalité entre les filles et les garçons est une valeur portée par le Ministère de l'Education Nationale (MEN), bien qu'elle ne soit pas acceptée par tous, d'aucuns lui préférant des valeurs patriarcales ou traditionnalistes prônant une

complémentarité des sexes. A l'École de la République, le relativisme axiologique n'a pas sa place, et les enseignants sont tenus de transmettre ces valeurs universalistes tout en répondant aux exigences de neutralité auxquelles ils sont astreints (Bozec, 2020). L'École ne saurait être neutre dans le sens d'une absence de transmission de valeurs (Chauvigné et al., 2022). Mais cet engagement vaut aussi pour le registre épistémique qui peut entrer parfois en concurrence avec le registre doxastique des croyances religieuses. C'est le cas par exemple dans l'enseignement de la théorie de l'évolution (TdE). Ici aussi, tout ne peut pas se valoir, et l'École rejette le relativisme épistémique radical (Larré et La Morena, 2017). Nous souhaitons interroger ici comment des enseignants de SVT, dans l'enseignement de la TdE, concilient leur représentation de leur devoir de neutralité tout en étant tenus de privilégier la transmission du registre épistémique sur le registre doxastique.

Enseignement de l'évolution : concurrence des registres doxastiques et épistémiques

Démarcation croyance-connaissance dans l'épistémologie scolaire

Tout au long des textes officiels de l'Éducation Nationale, les territoires doxastiques et épistémiques sont mis en opposition et ce, dès le primaire. Ainsi, les programmes du cycle 2 (MENJ, 2020, p. 6) indiquent qu'en classe « le discours produit est argumenté et prend appui sur des observations et des recherches et non sur des croyances ». Les programmes de SVT de lycée précisent que les élèves devront « Savoir distinguer ce qui relève d'une croyance ou d'une opinion et ce qui constitue un savoir scientifique » (MENJ, 2019a, p. 4). Pour l'École, les territoires de la croyance et de la connaissance (ou du savoir) semblent ainsi disjoints. Or, nous pouvons nous questionner tout d'abord, sur la polysémie des termes utilisés[100], mais aussi le tranchant de cette démarcation (Bronner, 2003). En tirant quelque peu le trait, Soler (2019) indique que cette démarcation entre croyance et connaissance peut

[100] Les définitions des termes croyance, connaissance et savoir subissent les influences de différentes disciplines académiques qui ne présentent, bien souvent, que peu de cohérence : psychologie cognitive, sociologie de la croyance, épistémologie génétique, philosophie de la connaissance...

certes être définie comme nette et franche d'un point de vue épistémologique, mais aussi comme totalement poreuse (posture du relativisme épistémique radical). Sanchez, dans le cadre de la sociologie de la croyance (2009) précise qu'une croyance, définie en tant qu'adhésion ou contenu assertionnel, peut être caractérisée par sa véracité (croyance vraie ou fausse), par sa robustesse (croyance fondée ou non sur des preuves) et sa rationalité (croyance assumée ou non comme rationnelle par le croyant). Pour Boudon (2012), une croyance, dont la croyance religieuse, peut être assumée individuellement ou collectivement. Il caractérise la connaissance comme une croyance pourvue d'un système de justification fort et non contextuel. Nous trouvons ici une certaine visée universaliste. En tant que catégorie de croyance particulière, la connaissance relève d'une certaine adhésion à un mode de représentation du monde, propre à chaque individu. Elle est en cela subjective et consubstantielle de l'individu (Astolfi, 2010, p. 68). Si l'épistémologie place la connaissance comme une forme de croyance[101] répondant à certaines normes[102], nous devons admettre une certaine continuité entre croyance et connaissance (Boghossian, 2009 ; Lecointre, 2018). Enfin, nous caractériserons le savoir objectivé en nous appuyant sur Barbier (2011). Le savoir objectivé est alors considéré comme un énoncé propositionnel provisoirement et conventionnellement stabilisé, associé à des représentations du monde, et considéré comme vrai et/ou efficace. Il s'agit d'un produit de l'institution scientifique qui pourra être transposé en classe.

Il existe ainsi un décalage important entre l'épistémologie scolaire prescrite (démarcation nette et hermétique) et les apports d'une épistémologie étayée (démarcation plus diffuse et poreuse). L'étayage épistémologique dans le prescrit du MEN est somme toute frugal (Germann, 2020), notamment en ce qui concerne cette distinction entre croyance et

[101] Loin de nous ici l'idée de basculer dans un relativisme épistémique radical difficilement tenable en classe. L'important est selon nous de souligner que la connaissance requiert, en tant que croyance, une forme d'adhésion.

[102] Normes historiquement et culturellement situées. Les procédures du discours mobilisées par les scientifiques pour valider leur discours ne seront pas discutées dans le présent écrit, mais nous pouvons affirmer qu'elles confortent la robustesse du discours scientifique pour décrire, comprendre ou expliquer le monde.

connaissance. Il revient alors à chaque enseignant de transposer en classe ses propres éléments épistémologiques à partir de son seul bagage. Pélissier et al. (2007) et Gandit et al. (2010) ont ainsi montré que cette lacune de prescription conduisait les enseignants à transmettre un patchwork épistémologique relevant bien souvent du sens commun.

L'enseignement de l'évolution : une question vive intermédiaire

L'objet de savoir ici convoqué porte sur un volet des programmes d'enseignement très stabilisé d'un point de vue scientifique : la TdE. Celle-ci appartient à un corpus socle pour les enseignants de SVT dans leur culture et formation disciplinaires. Ce corpus théorique explique l'apparition ou l'extinction, au cours du temps, des espèces, dont l'espèce humaine, et ainsi la biodiversité actuelle comme passée. Discipline peu expérimentale mais à forte dimension historique, la TdE produit un discours rétrodictif en s'appuyant notamment sur des données fossiles fragmentaires et lacunaires (Fortin, 2009, p. 76-86). Le discours produit présente une forte consilience : les disciplines académiques convoquées et les différents registres de preuves mobilisés convergent vers une même interprétation de l'histoire du vivant. Le corpus théorique n'est ainsi pas soumis à controverse scientifique (Lecointre et al., 2021 ; Hasni et Dumais, 2018) et correspond à ce que Orange (2012) caractérise comme une question vive intermédiaire : une question relative à un savoir supportant un consensus scientifique fort mais qui présente une forte vivacité sociale, susceptible de produire contestation, conflit ou tensions au sein de la société, notamment en raison d'une confusion entre les registres épistémiques et axiologiques. Les difficultés relatives à l'enseignement de la TdE peuvent être liées aux contenus même de la théorie ou à la nature de la démarche scientifique, mais aussi aux interférences avec les croyances religieuses (Carette et al., 2013). La TdE entre en effet en friction avec le religieux. Ici, les registres explicatifs scientifiques et religieux peuvent se retrouver en concurrence pour expliquer les mêmes faits (origine et diversité des espèces), et la légitimité de cet enseignement scientifique peut se voir contesté dans la classe. Il s'ensuit une certaine vivacité scolaire (Mathieu, 2011 ; Urgelli et al., 2018). De nombreuses études soulignent les tensions ou contestations d'élèves rencontrées lors de l'enseignement de la TdE (Hrairi et Coquidé-Cantor, 2002 ; Fortin, 2014) relativement à la démarcation croyance-connaissance. Aroua et al. (2012) ont montré que rares sont les stratégies d'intervention en classe qui prennent en compte ces tensions épistémologiques dans l'enseignement de la TdE. Wolfs et al. (2021) caractérisent chez les élèves sept postures différentes régissant les relations entre le croire et le savoir, allant de

postures fidéistes (une confiance totale accordée à la foi au détriment du discours scientifique) à des postures scientistes (la science se prétendant capable de disqualifier le registre religieux). Entre les deux, peuvent exister des postures concordistes qui tendent à conjuguer le croire et le savoir.

Cette TdE peut se voir rejetée de manière virulente par les élèves ou leurs familles. Or, en classe, et particulièrement face au devoir de neutralité qui s'impose aux enseignants, la transmission des contenus épistémiques prévaut sur les contenus doxastiques, notamment religieux. Cette concurrence peut mettre en tension les enseignants de SVT avec leur exigence de neutralité. En effet, ceux-ci devront, tout en respectant un devoir de neutralité, faire prévaloir le registre épistémique, ce qui peut être perçu comme une injonction paradoxale. Urgelli (2018, p. 114) questionne cette concurrence des registres dans la classe : « Comment faire avec, sans éviter, sans aller contre, sans réfuter, sans relativiser, sans dogmatisme ni mysticisme ? »

Devoir de neutralité dans l'enseignement de la TdE

Une parabole historique : Ne uter

An 49 avant notre ère.

Dans sa guerre contre Pompée, Jules César arrive devant la ville de Marseille avec ses légions. Pompée a demandé aux Marseillais de ne pas ouvrir les portes de la ville à César. César demande aux Marseillais de lui ouvrir la ville. Après avoir consulté les habitants, les députés déclarent à César : « *Debemus neutrum eorum contra alium juvare.* »[103].

Ici est affirmée une position neutre, prétendant ne prendre le parti ni de l'un, ni de l'autre. Pourtant, Marseille semble bien soutenir Pompée en n'ouvrant pas les portes de la cité. Si ces portes avaient été ouvertes, elle aurait pris le parti de César. Comment les habitants de Marseille auraient-ils pu rester neutres dans ce conflit ?

[103] Extrait de César, Guerre civile, Livre I, 35, 5. Traduction : « Nous ne devons servir aucun des deux contre l'autre. »

Cette parabole nous permet de mettre en tension neutralité, abstention et engagement. L'abstention est-elle en toute situation neutre ? Est-il possible d'être neutre tout en s'engageant ?

La neutralité de l'enseignant, agent de l'État

La laïcité française impose une non reconnaissance des cultes par la République et l'égalité en droits et en devoirs des citoyens. La République impose aux fonctionnaires un devoir de neutralité qui relève, pour l'enseignant :

- D'une neutralité opérative : l'agent est tenu d'agir de manière neutre ;
- D'une neutralité symbolique : l'agent représente symboliquement l'État.

Un enseignant doit conjuguer dans la classe un double niveau de neutralité défini juridiquement :

- La neutralité de la République française instituée par la Loi de séparation de 1905, mentionnée dans la Constitution de 1958 et dans l'article 1er du statut de la fonction publique.
- La neutralité scolaire, affirmée dans le code de l'éducation et dont on retrouve les prémices dès les circulaires Jean Zay de 1936 et 1937, est présente dans les lois de 1882-1886. Elle tient au statut particulier du jeune public accueilli à l'École, du fait de sa vulnérabilité et du faible étayage de sa liberté de conscience.

Certains sites rectoraux continuent de définir l'obligation de neutralité du fonctionnaire ainsi :

> « Les personnels enseignants participent au service public d'éducation qui s'attache à transmettre les valeurs de la République, notamment l'idéal laïque qui exclut toute discrimination de sexe, de culture, de religion et tout prosélytisme. L'obligation de neutralité implique pour les maîtres le respect de la liberté de conscience des élèves. »[104]

[104] Par exemple sur le site de l'académie de la Réunion (https://pedagogie.ac-reunion.fr)

Nous voyons que sont mobilisés trois niveaux de neutralité (Le Clézio, 2006) :

- Neutralité de non-discrimination : l'enseignant se voit confier des élèves qui doivent rester égaux en droits et en devoirs (valeur d'égalité).
- Neutralité d'intelligence : l'enseignant doit garantir la pleine et entière liberté de conscience de ses élèves (valeur de liberté).
- Neutralité d'engagement : l'enseignant doit transmettre les valeurs de la République. Cette neutralité d'engagement exclut toute neutralité d'abstention.

Représentations de la neutralité d'enseignants

Les enseignants peuvent activer différentes conceptions de la neutralité. Le terme neutralité est souvent associé à l'impartialité, au non engagement, à l'objectivité, voire à l'abstention ou au laisser-faire en contexte de conflit (Cacciari et Gallenga, 2018). En classe, de telles conceptions naïves ne semblent pas tenables. Larré et La Morena (2019), Menard (2019) étudient différentes représentations d'enseignants, débutants ou expérimentés, relativement à leur devoir de neutralité. La neutralité peut être définie par ces enseignants de manière très variée :

- Neutralité-discrétion : L'enseignant s'interdit de dévoiler ses convictions. Nous pouvons nous demander ici qui est tenu à ce devoir de discrétion : il paraît difficile de soutenir que l'agent enseignant doive adopter, en toute circonstance, ce devoir de discrétion lorsqu'il s'agit de transmettre les contenus des programmes (contenus aussi bien axiologiques qu'épistémiques).
- Neutralité-objectivité : L'enseignant ne doit proposer que des enseignements reposant sur des faits totalement objectifs[105] et indiscutables. Nous retrouvons ici la tension épistémologique entre fait et théorie, mais aussi entre science et dogme.

[105] Plutôt qu'un discours objectif, la science produit de l'intersubjectivité.

- Neutralité-impartialité : L'enseignant se doit de présenter toutes les thèses en jeu sans prendre parti. L'enseignant de SVT serait dans l'obligation de présenter les thèses créationnistes lors de l'enseignement de la TdE.
- Neutralité-laisser-faire : L'enseignant doit respecter les croyances ou opinions de chacun des élèves qui lui sont confiés, quitte à s'interdire de les influencer de quelque manière que ce soit. Cette posture peut aller jusqu'au respect absolu de chaque conviction d'élève. Cette neutralité-laisser-faire semble difficilement tenable en classe lorsqu'il s'agit d'enseigner la TdE.
- Neutralité-abstention : L'enseignant tait tout ce qui pourrait fâcher au sein de la classe. Certaines parties des programmes pourraient ainsi ne pas être traitées si elles peuvent présenter une certaine vivacité en classe.
- Neutralité d'engagement : Le Clézio (2006) s'interroge sur la possibilité de concilier l'acte d'enseignement avec les représentations précédentes de la neutralité. Enseigner en toute neutralité, c'est toujours selon lui s'engager à faire prévaloir certains registres sur d'autres.

Question de recherche

Ce devoir de neutralité, spécifiquement vis-à-vis de l'enseignement de la TdE, nourrissant la dialectique entre le croire et le savoir, peut mettre en tension les enseignants de SVT. En effet, si de nombreux croyants parviennent à concilier dans leur for intérieur le croire et le savoir, certains voudront faire prévaloir le registre de la foi sur celui de la science (Wolfs et al., 2021). Ces enseignants de SVT doivent ainsi, tout en adoptant des postures de neutralité, assumer de faire prévaloir le commun à visée universaliste (les savoirs objectivés) sur d'autres registres (les croyances religieuses) (Heinich, 2021). Cette double attente institutionnelle peut sembler relever d'une injonction paradoxale, et renvoyer les enseignants de SVT à une forme de dilemme éthico-professionnel. Nous pouvons alors nous demander comment des enseignants de SVT concilient leur représentation du devoir de neutralité avec la prévalence du registre épistémique sur le registre doxastique vis-à-vis de la TdE.

Méthodologie

Le recueil empirique s'appuie sur une étude exploratoire et qualitative menée dans le cadre d'un doctorat. Lors d'un stage de formation continue[106] portant sur une approche épistémologique de l'enseignement de la TdE, les représentations de dix enseignants de SVT ont été recueillies à l'aide d'un questionnaire. Ces professeurs de SVT, enseignant en collège ou lycée, se sont inscrits volontairement à ce stage du plan académique de formation qui proposait un regard croisé entre la biologie et l'épistémologie. Dans un premier temps, nous avons recueilli les représentations de ces enseignants sur la démarcation qu'ils font entre croyance et connaissance à l'aide d'une question ouverte (« Après avoir défini une croyance et une connaissance, indiquez ce qui différencie pour vous une l'une de l'autre. »). Puis, nous les interrogeons (question fermée) sur leurs représentations du devoir de neutralité du fonctionnaire : les répondants doivent associer, de manière possiblement redondante, la neutralité aux items qui leur paraissent pertinents dans une liste de 6 propositions (cf. annexe 2) établie à partir des différentes postures de neutralité circonscrites par Menard (2019) et Larré et La Morena (2019). Enfin, le questionnaire explore les tensions qui peuvent résulter de ce devoir de neutralité avec leur obligation de faire prévaloir le registre épistémique sur le registre doxastique en classe lorsqu'il s'agit d'enseigner la TdE. Nous avons pour cela proposé un dilemme éthico-professionnel à ces enseignants en leur demandant de se prononcer sur l'assertion suivante : « L'École est neutre. Il n'y a donc aucune raison de privilégier l'enseignement de connaissances plutôt que de croyances ». Il s'agit bien d'un dilemme éthico-professionnel (Lipp, 2016, p. 167) car il mobilise la sphère professionnelle et les réponses traduisent la recherche d'un compromis entre deux valeurs en conflit : le respect de la liberté de conscience des élèves et l'aspiration à l'émancipation de chacun (ou loyauté envers le prescrit). Chaque répondant devait indiquer s'il était en accord ou pas avec cette assertion et proposer une justification. Nous rendons compte de l'analyse des questionnaires recueillis auprès de ces enseignants en mettant en relief les tensions entre démarcation croyance-connaissance et postures de neutralité revendiquées. Cette étude

[106] Stage organisé par la Maison Pour La Science de Toulouse le 12 mai 2022

exploratoire ainsi que le recours à des questions ouvertes dans le questionnaire permettent d'assumer une approche qualitative.

Les réponses des enseignants interrogés sont soumises à une analyse de contenu descendante (Bardin, 2013) pour les questions 1 et 2. L'annexe 1 présente les mots-clés anticipés pour caractériser les représentations des enseignants sur les croyances et les connaissances ainsi que des illustrations de réponses à la question 1. Les mots-clés sont établis à partir de Germann (2020). L'annexe 2 présente quant à elle l'analyse descendante de contenu pour la question 2 relative aux représentations des postures de neutralité et des illustrations de réponse à la question 2 sont proposées dans la dernière colonne. La question 3 (réponse au dilemme éthico-professionnel) est quant à elle soumise à une analyse de contenu ascendante : à partir des réponses recueillies, nous avons mis en évidence quatre stratégies différentes afin de s'extraire du dilemme proposé. Nous observons ainsi quatre articulations possibles entre les représentations du devoir de neutralité des enseignants et la prévalence du registre épistémique en classe dans leur déclaratif. Ces articulations seront détaillées dans la partie résultats.

Résultats

Démarcation croyance-connaissance

Intéressons-nous à l'épistémologie spontanée déployée par ces enseignants de SVT lorsqu'il s'agit de caractériser la démarcation croyance-connaissance. L'ensemble des dix enseignants propose une démarcation nette et franche entre croyance et connaissance avec une mise en opposition nette des deux termes. Aucune zone de recouvrement n'est mobilisée. L'analyse de contenu descendante montre que la croyance est définie de manière relativement uniforme et homogène. Elle est vue comme ne s'appuyant pas sur des preuves ou des faits pour 9 répondants. Elle est plutôt subjective et personnelle pour 6 d'entre eux. Deux répondants seulement caractérisent la croyance en termes d'adhésion, un seul relève qu'une croyance peut être collective. Cette croyance s'oppose toujours pour ces enseignants à la connaissance qui est alors définie de manière moins monolithique : les éléments de définitions mobilisés sont plus divers. Nous retrouvons ici un patchwork épistémologique évoqué précédemment. Les enseignants semblent associer de manière disparate et non accommodée des éléments épars d'une épistémologie intuitive, éléments non dénués d'intérêts épistémologiques. La connaissance est ainsi vue comme :

- Objective et s'appuyant sur des faits pour 5 répondants ;
- Admise par la communauté scientifique et relevant d'un consensus scientifique pour 4 enseignants ;
- Elle est présentée comme stable dans le temps (pour 4 répondants) mais pouvant évoluer (pour 3 autres) ;
- Elle est issue d'une observation ou d'une expérience et répond à la mise en œuvre d'une démarche ou méthode particulière (3 enseignants). Nous retrouvons ici des approches empiristes et internalistes : la connaissance est produite à partir d'observations ou d'expériences en appliquant rigoureusement une méthode particulière.
- Enfin, nous retrouvons des confettis d'étayage épistémologiques : la connaissance est vérifiée (2), cohérente, consiliente et universelle.

Représentations du devoir de neutralité

Quelles sont les représentations de ces enseignants sur leur devoir de neutralité ? Nous retrouvons ici des représentations classiques de la neutralité de l'enseignant, mais nous pouvons voir que ces représentations sont, d'un enseignant à l'autre, très contrastées. Le tableau 1 présente pour chaque enseignant les représentations de la neutralité mobilisées dans la définition qu'il donne du devoir de neutralité. De manière quasi unanime des répondants (9 enseignants), nous retrouvons une neutralité-discrétion : un enseignant, pour être neutre en classe, n'a pas à dévoiler ses propres convictions. Aucun de ces enquêtés ne produit la moindre distinction entre ses convictions personnelles intimes et un engagement républicain de l'agent l'obligeant à faire prévaloir certains registres axiologiques et épistémiques sur d'autres. La neutralité-laisser faire est elle aussi très fréquente (7 répondants), ce qui semble entrer en contradiction avec leurs missions d'éducateurs ou d'enseignants en classe. Six répondants associent neutralité à objectivité. Enfin, deux répondants indiquent que pour être neutre, il leur faudrait aussi présenter les thèses créationnistes (neutralité-impartialité). Notons qu'aucun enseignant de SVT de ce corpus ne mobilise une neutralité d'abstention ou d'engagement sur cette thématique de la TdE.

Tableau n°1 : Conceptions de la neutralité rencontrées chez les 10 enseignants

Enseignant	Objectivité	Impartialité	Laisser-faire	Discrétion	Abstention	Engagement
A	X		X	X		
B	X		X	X		
C	X		X	X		
D				X		
E	X		X	X		
F	X	X	X			
G		X		X		
H		X	X	X		
I	X		X	X		
J				X		

Devoir de neutralité et enseignement de l'évolution

Dans une troisième partie du questionnaire, nous avons proposé l'assertion suivante aux répondants : « L'École est neutre. Il n'y a donc aucune raison de privilégier l'enseignement de connaissances plutôt que de croyances. » L'analyse de contenu ascendante révèle 4 articulations différentes entre devoir de neutralité et prévalence du registre épistémique en classe. Nous obtenons ainsi des avis très marqués et variés allant d'une validation totale de cette assertion jusqu'à un rejet net et franc. Six répondants revendiquent clairement le fait de pouvoir être neutres tout en enseignant la TdE. Trois ne parviennent pas à se prononcer. Un rejette l'assertion proposée (enseignant H).

Arrêtons-nous sur quatre réponses sélectionnées pour leur intérêt et leur contraste (tableau n°2).

Tableau n°2 : Quatre réponses apportées au dilemme éthico-professionnel

Enseignant F	« La neutralité n'est pas de privilégier soit l'un, soit l'autre mais de montrer les limites des croyances (pas de preuves) et les dérives qu'elles entrainent contrairement à la connaissance. »
Enseignant A	« En pesant les différences entre croyances et connaissances, il est possible d'enseigner les deux avec prise de distance suffisante pour permettre la neutralité. »
Enseignant I	« L'école a pour vocation de fournir des outils de réflexion et de transmettre les connaissances validées afin de forger les bases pour chacun d'une autonomie de pensée : chacun sera alors libre de ses croyances. »
Enseignant H	« Etre neutre, c'est ne pas prendre parti, donc ne pas privilégier l'enseignement de connaissances plutôt que de croyances. Je pense qu'il n'est pas possible de rester neutre. »

L'enseignant F indique que son devoir de neutralité consiste à « montrer les limites des croyances ». Il semble pertinent de se demander s'il garantit la liberté de conscience de ses élèves. Des postures scientistes semblent revendiquées : la connaissance semble vierge de toute dérive. Nous avons ici une mise en tension importante entre croyance religieuse et connaissance scientifique, celle-ci paraissant relever, dans la réponse de cet enseignant, du registre axiologique. A l'opposé, l'enseignant A propose d'enseigner en toute équité et impartialité les deux thèses en lice : la TdE et les thèses créationnistes. Nous avons ici une neutralité-impartialité qui semble mobilisée pour sortir du dilemme proposé. L'enseignant ne semble pas particulièrement gêné face cette perspective. L'enseignant I s'appuie quant à lui sur l'émancipation de l'élève. La liberté de conscience de l'élève semble ici garantie[107]. Cet enseignant prône une adhésion libre et éclairée aux croyances plutôt qu'une adhérence

[107] Nous pouvons cependant nous demander s'il n'existe pas chez cet enseignant une confusion entre liberté de conscience, absolue et universelle en France, et la liberté de culte plus restreinte. Mais là ne se situe pas notre focale d'attention.

subie et héritée du contexte socioculturel. Enfin, nous ne recueillons qu'une seule remise en question du postulat « L'École est neutre ». Elle est portée par l'enseignant H qui rejette catégoriquement l'idée de pouvoir enseigner de manière neutre la TdE. Nous ne pouvons à nouveau que souligner le fort contraste entre ces quatre réponses face au même dilemme éthico-professionnel.

Il apparait chez certains répondants des tensions : certains déclarent ainsi qu'enseigner la TdE est incompatible avec leur devoir de neutralité, quand d'autres indiquent que la prévalence de la connaissance permet aux élèves de s'affranchir de leurs croyances, ce qui semble s'opposer au respect laïque de la liberté de conscience. L'analyse des représentations enseignantes ne permet pas ici de justifier épistémologiquement et didactiquement la prévalence du savoir sur le croire en classe.

Discussion

Rappelons tout d'abord que l'approche de cette enquête est exploratoire et qualitative : nous avons essayé de privilégier la variété et la diversité des réponses. En cela, cette enquête répond à nos attentes. S'il existe une forte convergence des réponses pour définir ce qu'est une croyance, les autres volets du questionnaire ont permis de mettre en lumière des réponses contrastées et variées, notamment sur le volet épistémologique.

En l'absence d'éléments d'étayage épistémologiques dans les textes officiels, les enseignants de SVT questionnés déploient une épistémologie scolaire sur la démarcation croyance-connaissance relevant dans notre recueil du sens commun et du patchwork épistémologique. Notons tout de même que les nouveaux programmes de lycée général semblent prendre en charge un certain étayage épistémologique. Les préambules des programmes d'enseignement scientifique des classes de première et de terminale de la voie générale et technologique précisent en effet :

> « Le savoir scientifique résulte d'une construction rationnelle. Il se distingue d'une croyance ou d'une opinion. Il s'appuie sur l'analyse de faits extraits de la réalité complexe ou produits au cours d'expériences. Il cherche à expliquer la réalité par des causes matérielles. » (MEN, 2019b, p. 2)

La démarcation entre le croire et le savoir y est nette. Nous trouvons une certaine articulation entre approches rationaliste et empiriste afin d'expliquer la réalité. Le fait et la raison sont conjugués pour construire le savoir. Entre en lice aussi un matérialisme méthodologique

scientifique (Lecointre et al., 2021) : par méthode, la science produit un discours qui ne s'appuie pas sur des catégories extranaturelles telles que esprits, dieux, entités… Cependant, ces éléments d'étayage épistémologique relatifs au croire et au savoir ne précisent pas aux enseignants comment prendre en compte dans la classe ces croyances religieuses. Si l'enseignant n'a pas à prendre en charge la congruence des discours scientifiques et religieux chez ses élèves, Fortin (2014) émet quelques perspectives curriculaires possibles pour prendre en compte ces croyances religieuses dans l'enseignement de l'évolution. Elle préconise ainsi, en s'appuyant sur des controverses historiques, de ne pas produire de bipolarisation science-religion, de pointer les enjeux sociopolitiques de visions théocratiques ou bien encore d'accorder toute sa place à l'étude de la nature de la science. Ainsi, la culture scientifique s'appuie aussi bien sur des connaissances *en* science que de connaissances *sur les* sciences (Maurines et al., 2017).

Conclusion

Urgelli (2012, p. 178) montre que « sous couvert de neutralité et de laïcité scolaire, l'absence d'un argumentaire didactique construisant la séparation de l'ordre des sciences de celui de la foi s'accompagne elle aussi d'un risque : laisser les élèves seuls aller chercher des réponses ailleurs. » Or, notre étude montre que les représentations de la neutralité scolaire relatives au sens commun rendent difficile la justification par les enseignants de SVT de la prévalence du registre du savoir sur celui du croire dans l'enseignement de l'évolution dans le contexte particulier de laïcité en France. L'enjeu est donc fondamental. Un seul enseignant associe la neutralité scolaire avec une forme d'engagement : il n'y a pas, pour les autres, d'association possible entre posture de neutralité et engagement de l'enseignant. Or, enseigner, et peut-être particulièrement la TdE, c'est accepter, en tant que fonctionnaire d'Etat, de s'engager pour faire prévaloir le registre du savoir sur celui du croire, comme l'exigent les programmes scolaires, et cela, sans avoir à abandonner son devoir de neutralité.

Bibliographie

Aroua, S., Coquidé, M., et Abbes, S. (2012). Controverses dans l'enseignement de l'évolution. Questions de recherches sur les stratégies d'intervention en classe et dans la formation. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 5, 47-76.

Astolfi, J.-P. (2010). *L'école pour apprendre : L'élève face aux savoirs*. ESF éditeur.

Barbier, J.-M. (2011). *Savoirs théoriques et savoirs d'action*. PUF.

Bardin, L. (2013). *L'analyse de contenu* (2e édition "Quadrige"). Presses universitaires de France.

Boghossian, P. A. (2009). *La peur du savoir : Sur le relativisme et le constructivisme de la connaissance*. Agone.

Boudon, R. (2012). *Croire et savoir Penser le politique, le moral et le religieux*. P.U.F.

Bozec, G. (2020). Vérité, neutralité et conflits de valeurs : Les dilemmes de l'éducation civique aujourd'hui. *Raisons educatives*, 24(1), 55-73.

Bronner, G. (2003). *L'empire des croyances*. Presses universitaires de France.

Cacciari, J., et Gallenga, G. (2018). Introduction. *Terrains/Théories*, 9, Article 9.

Carette, V., Biseau, J.-C., Wolfs, J.-L. et Colsoul, A. (2013). Analyse des difficultés liées à l'enseignement – apprentissage de la théorie de l'évolution. *Education & Formation*, 3(298), 871-103.

Chauvigné, C., Fabre, M. et Monjo, R. (2022). La neutralité à l'école : Entre repères, apprentissages et postures. *Éducation et Socialisation*, 64.

Fortin, C. (2009). *L'évolution à l'école : Créationnisme contre darwinisme ?* A. Colin.

Fortin, C. (2014). L'enseignement de l'évolution face aux croyances religieuses. Quelles perspectives curriculaires possibles ? *Histoire, monde et cultures religieuses*, 32(4), 67-78.

Gandit, M., Triquet, E. et Guillaud, J.-C. (2010). *Démarches scientifiques, démarches d'investigation en sciences expérimentales et en mathématiques : représentations d'enseignants stagiaires en IUFM*. Actes du congrès de l'Actualité de la recherche en éducation et en formation (AREF). Université de Genève.

Germann, B. (2020). Postures épistémologiques des programmes français d'enseignement des sciences (cycles 1 à 4). *Grand N*, 106, 70-99.

Hasni, A. et Dumais, N. (2018). Les controverses en sciences : Significations et défis pour les universitaires [Controversies in science : Meanings and challanges for academics]. *Bulletin du CREAS*, 6-12.

Heinich, N. (2021). *Oser l'universalisme : Contre le communautarisme* (1er édition). Editions Le Bord de l'eau.

Hrairi, S. et Coquidé-Cantor, M. (2002). Attitudes d'élèves tunisiens par rapport à l'évolution biologique / Attitudes of tunisian pupils to biologigical evolution. *Aster*, 35(1), 149-163.

Larré, F. et La Morena, F. de. (2017). Enseigner « en toute neutralité ? ». Dans Foray, P. et Kerlan, A. (2017). *Le métier d'enseigner : Approches philosophiques*. Presses universitaires de Nancy-Éditions universitaires de Lorraine.

Larré, F. et La Morena, F. de. (2019). Quel modèle éducatif pour l'apprentissage de la neutralité ? *Recherche formation*, 91(2), 43-54.

Le Clézio, R. (2006). *La neutralité : Un défi pour l'école*. Presses universitaires de Rennes.

Lecointre, G. (2018). *Savoirs, opinions, croyances : Une réponse laïque et didactique aux contestations de la science en classe*. Belin éducation.

Lecointre, G. A., Fortin, C., Guillot, G., Bénéteau, A., Haessig, T. et Visset, D. (2021). *Guide critique de l'évolution*. Belin.

Lipp, A. (2016). *Question socialement vive et développement du pouvoir d'action des enseignants et des élèves : la question du bien-être animal en élevage dans les lycées professionnels agricoles* [thèse non publiée]. Université de Toulouse

Mathieu, S. (2011). Ce qu'ils en disent : la perception de la théorie de l'évolution par des élèves de collège et lycée. Dans Portier, P., Veuille, M. et Willaime, J.-P. (2011). *Théorie de l'évolution et religions*. Riveneuve.

Maurines, L., Fuchs-Gallezot, M. et Ramage, M.-J. (2017). Images diverses et partielles des sciences renvoyées par les programmes français de deux disciplines scolaires. *Carrefours de l'éducation*, 44(2), 31-50.

MENJ. (2019a). Programme de l'enseignement de sciences de la vie et de la Terre de la classe de seconde générale et technologique (Arrêté du 17-1-2019, BOEN spécial n°1 du 22 janvier 2019).

MENJ. (2019b). Programme d'enseignement scientifique de la classe de première de la voie générale (Arrêté du 17-1-2019, BOEN spécial n°1 du 22 janvier 2019).

MENJ. (2020). Programmes du cycle 2 (Arrêté du 17-7-2020, BOEN n°31 du 30 juillet 2020)

Menard, C. (2019). La neutralité des enseignants français dans les collèges publics : Quelle objectivité face à ses propres croyances et à celles des élèves ? *Studies in religion*, 48(4), 553-570.

Orange, C. (2012). *Enseigner les sciences : Problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe*. De Boeck.

Pélissier, L., Venturini, P. et Calmettes, B (2007). L'épistémologie souhaitable et l'épistémologie implicite dans l'enseignement de la physique. De l'étude sur l'enseignement en seconde à la démarche d'investigation au collège. In *Actes des 3e journées nationales inter-IUFM sur la recherche et la formation des enseignants en Epistémologie et Histoire des Sciences et des Techniques* (ReForHST) (pp. 8-13). Caen.

Sanchez, P. (2009). *Les croyances collectives*. P.U.F.

Soler, L. (2019). *Introduction à l'épistémologie* (3e édition). Ellipses.

Urgelli, Benoit. (2012). Créationnisme et enseignement de l'évolution : Quelle éducation citoyenne et laïque ? *Revue Atala*, 15, 167-181.

Urgelli, B., Guelladress, K., et Quentin, A. (2018). Enseigner l'évolution et la nature des sciences face aux contestations d'élèves : Essai de modélisation des postures enseignantes. *Recherches en éducation*, 32, 103-116. https://doi.org/10.4000/ree.2307

Wolfs, J.-L., Delhaye, C., Altepe, C., Vanhove, R., et Hassan, W. (2021). Les postures entre science et croyance religieuse : Construction d'un modèle d'analyse et comparaison avec les taxonomies existantes. RDST. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 23, 161-181.

Annexe 1 : Analyse descendante de contenu de la question 1 : démarcation croyance-connaissance

Conception mobilisée	Exemples de mots-clés	Extrait de réponses au questionnaire
Subjectivité	Personnelle, conviction, intime, opinion, sans preuve…	Ens A : « Sans fondement vérifié, sans preuve, personnel. » Ens B : « Quelque chose qui ne s'appuie pas sur des faits. » Ens D : « La croyance est subjective. »
Objectivité	Preuve, fait, vrai, vérifié…	Ens C : « Une connaissance est objective. » Ens D : « Se basant sur des preuves. »
Collective	Consensus, collectif, communauté de scientifiques…	Ens G : « Consensus. » Ens H : « Reconnue par une communauté d'experts. » Ens I : « La connaissance est universelle. »
Individuelle	Individuelle, propre, particulière…	Ens C : « Elle est propre à un individu. »
Dogmatique	Stable, dogme, certitude, vérifié…	Ens A : « Stable dans le temps. »
Réfutable	Changeante, réfuté, modifier, évolution, modification…	Ens C : « Qui peut changer en fonction des découvertes. » Ens E : « Une connaissance peut prétendre à la certitude jusqu'à un certain point. »
Empiriste	Fait, expérience, observation première, induction, sens, découverte…	Ens F : « La connaissance est légitimée (validée par l'expérience). » Ens G : « Attestée par des faits, des observations. » Ens H : « Ce sont des éléments basés sur des observations et validés par l'expérimentation. »

Rationaliste	Théorie, hypothèse première, question, modèle, déduction, mise en évidence, raisonnement, esprit, idée, invention…	Ens E : « Une connaissance est accompagnée de preuves démonstratives. » Ens F : « S'appuie sur des arguments, et démonstration. Issue d'une cohérence dans le raisonnement. »
Internaliste	Méthode, démarche…	Ens B : « Un fait établi suivant une méthode validée. »
Consilience	Différentes disciplines, plusieurs…	Ens H : « Prouvée par l'étude des différentes disciplines. »

Annexe 2 : Formulation et analyse descendante de la question 2 :

Question 2 : Parmi les propositions suivantes, cochez celle(s) qui défini(ssen)t le mieux la neutralité selon vous. Justifiez vos choix.

☐ Discrétion sur mes propres opinions ☐Objectivité ☐Impartialité ☐Absence d'influence sur les élèves ☐S'abstenir de parler de thèmes susceptibles de déranger les élèves ☐ Engagement

Conception mobilisée	Exemples de mots-clés	Exemples de réponses
Neutralité-discrétion	Taire ses convictions, discrétion, ne pas révéler…	Ens D : « Être neutre, c'est mettre à distance son propre point de vue. » Ens G : « Ne pas donner son opinion. »
Neutralité-objectivité	Faits, preuves, certitude, objectif…	Ens C : « Il est important d'enseigner des connaissances vérifiées et reconnues. » Ens I : « L'école a pour vocation de transmettre les connaissances validées. »
Neutralité-impartialité	Ne pas prendre parti, les deux thèses,	Ens F : « Impartialité. » Ens H : « Être neutre, c'est ne pas prendre parti. »

Neutralité-laisser-faire	Respecter, laisser-faire, accepter, tolérer, ne pas influencer…	Ens B : « Protection des élèves/liberté des choix. » Ens C : « Accepter que certains de nos élèves ont été élevés avec certaines croyances. »
Neutralité-abstention	Ne pas traiter, éviter, taire…	Pas d'extrait correspondant dans le corpus
Neutralité-engagement	S'engager, républicain, devoir du fonctionnaire…	Pas d'extrait correspondant dans le corpus

Environmental awareness and controversy mapping on excessive meat production and consumption.

A study with preservice preschool teachers

Cruz-Lorite Isabel María [(1)], Hervé Nicolas [(2)], Cebrián-Robles Daniel, Acebal-Expósito María del Carmen
[(1)] Experimental Sciences Teaching, University of Málaga – Spain
[(2)] École Nationale Supérieure de Formation de l'Enseignement Agricole, Université de Toulouse, UMR EFTS – France

Abstract

The current meat production and consumption model is a socially acute question with environmental implications. Developing people's environmental awareness is necessary for adopting more environmentally friendly eating habits. This work studies the possible effects of a Cartography of Controversy didactic device on the environmental awareness of preservice preschool teachers. Their answers to an open-ended question about their meat consumption were analysed before and after the activity. The results show no significant changes in their willingness to reduce meat consumption after the activity. Health or animal welfare seem to be more relevant reasons for them than environmental ones. However, there is some increase in the environmental reasons following participation in the activity.

Science education, socially acute questions and environmental awareness

In relation to science education, Morin et al. (2017) consider a major purpose of contemporary science education is to prepare citizens to reason and to take part in decision-making processes about environmental socio-scientific issues (SSIs) that impact on our global future. Socially acute questions (SAQs) are one of the "science-in-context" fields that aim to associate scientific education and education for citizenship through the study of socio-scientific/socio-technical controversies or environmental problems (Bencze et al., 2020). According to Simonneaux (2008), SAQs are issues that generate controversy among specialists in the relevant fields, are laden with uncertainty, challenge social practices, are considered a problem by society, give rise to debate, and are the subject of significant media coverage. This means that these issues are alive at three levels: research, society and classrooms. In this sense, some studies show that the treatment of SSIs could benefit the development of the students' environmental awareness. One example can be seen in a work carried out by Susilawati et al. (2021) with 83 preservice science teachers from Indonesia, in which the experimental group (SSI-based instruction) obtained better scores on an environmental awareness test than the control group (direct instruction) after the study. Therefore, SAQs seem to be a good approach to study the influence of the treatment of environmental SSIs on the environmental awareness, specifically in preservice teachers' environmental awareness.

In this work, we address the SAQ of the current meat production and consumption model. This SAQ has shown increasing interest in Spain, which can be seen in its wider presence in the media (Guitián, 2022), given that it has both health (Mozaffarian, 2016) and environmental implications (Mitloehner, 2018). Within this SAQ, different controversies arise, one of them being excessive meat production and consumption. Adaptation and mitigation responses to climate change are strongly influenced by behavioural and lifestyle choices (Prati et al., 2017). In order to adopt more environmentally friendly lifestyles, one goal of environmental education is for people to develop their environmental awareness.

Environmental awareness

In this work, we adopted the theoretical framework developed by Chuliá (1995) for analysing environmental awareness. Chuliá (1995) was the first author to introduce the term

"environmental awareness" in works published in Spain. As the author herself comments, this model was developed based on the theoretical contributions made about the dimensions that constitute environmental awareness and empirical evidence provided by a monographic survey on the environment representative of the entire Spanish population (CIRES, 1994). The author presents the concept of environmental awareness as "an instrument for organising empirical evidence" (Chuliá, 1995, p. 5) on the dimensions it comprises. It is, therefore, a theoretical model obtained from empirical evidence (existing at the time of publication), this being one of the most interesting aspects of this theoretical framework. This modelling character has probably led this framework to be followed, with slight variations, by other authors in Spain (Muñoz, 2012). Some examples of works that use this model in the field of science and environmental education can be seen in Muñoz (2012) and Laso et al. (2019). According to Chuliá (1995, p. 4), environmental awareness is a construct made of five dimensions:

1. Affective dimension: it brings together feelings of concern for the state of the environment, the degree of adherence to cultural values favourable to the protection of nature and the strength of habits of approaching natural spaces.
2. Cognitive dimension: it groups knowledge related to the understanding and definition of ecological problems, the possession of intelligible schemes about possible solutions and those responsible for them, as well as interest in information on the issue.
3. Conative dimension: it encompasses the willingness to act personally on ecological criteria and to accept governmental environmental interventions.
4. Individual active dimension: it includes environmental behaviour of a private nature, such as the consumption of environmentally friendly products, saving scarce resources, separating recyclable waste at home, etc.
5. Collective active dimension: it includes behaviours, generally public or symbolic, expressing support for environmental protection (collaboration with groups and parties that claim to defend the environment, donation of money, participation in demonstrations and protests, "green vote", etc.).

Jiménez and Lafuente (2006) proposed indicators for analysing each dimension of this model, which are also used in this work. In order to align the dimensions proposed by Chuliá (1995) with the indicators proposed by Jiménez and Lafuente (2006), individual and collective behaviours, considered by Chuliá (1995) as two different dimensions, are

presented in this work within the same dimension (active dimension), as other authors have also done (e.g. Jiménez et Lafuente, 2006; Laso et al., 2019). The dimensions and indicators used in this work can be seen in Table 1.

Table n°1. Dimensions and indicators for the analysis of environmental awareness proposed by Chuliá (1995) and Jiménez and Lafuente (2006), respectively.

Dimensions (Chuliá, 1995)	**Indicators (Jiménez et Lafuente, 2006)**
Affective	AF1. Adherence to pro-environmental values, or the extent to which people make an ecological reading of reality.
	AF2. Severity or degree to which the environment is perceived as a problem that requires more or less urgent intervention.
	AF3. Personal concern for the state of the environment.
	AF4. Priority of environmental problems, implying a hierarchical ranking.
Cognitive	COG1. Specialised knowledge of environmental issues, their causes and consequences.
	COG2. Knowledge and opinions on environmental policy.
	COG3. Degree of general information on environmental issues, or the extent to which people show interest and inform themselves through various sources.
Conative	CON1. Willingness to assume costs associated with different environmental policy measures.
	CON2. Willingness to engage in various pro-environmental behaviours.
	CON3. Perception of the effectiveness and level of responsibility of individual action.
Active	AC1. Private environmental behaviour.
	AC2. Public or symbolic environmental behaviour.

Finally, these four dimensions do not necessarily have a direct relationship. For example, the literature on environmental awareness reports that knowledge (included in the cognitive dimension) and concern (included in the affective dimension) about environmental problems are not variables with predictive power over behaviour (Murga, 2008). However, a person

who engages in pro-environmental behaviours is also more likely to have pro-environmental attitudes, concern about environmental issues and knowledge about environmental problems (Muñoz, 2012).

Controversy mapping

Cartography of controversy (CoC) is a didactic approach firstly designed for higher education. It is based on the actor-network theory (Latour, 2005), which considers that the construction of social phenomena can be described by the way social actors communicate, cooperate or are in conflict. To do this, it is not enough to observe the actors involved in isolation, and it is somewhat necessary to follow the actors in the chains of translation of actants, the arrangements and reconfigurations of the collectives that take place in a controversy (Venturini, 2010).

An actant is defined as a human or non-human entity (people, ideas, animals, things, etc.) that intervenes in a dispute and can influence it (Latour, 1996). CoC is a suitable educational approach to address SAQs, given its potential for exploring and visualising complex issues (Latour, 2005; Venturini, 2010). To deal with a SAQ, the CoC approach involves the development of different materials in a project that requires a certain length of time to develop, in which the controversy mapping serves as a graphically interpretable summary of the entire enquiry conducted on that controversy. The objective of controversy mapping is to describe the actants in a controversy, their relationships with each other and the arenas in which they express themselves. Adaptation in secondary education involves rethinking the content of the knowledge taught, the pedagogical support provided, and the production required from students (Authors, 2019). That is why some authors report shorter experiences from this approach, in which controversy mapping is used "as part of everyday classroom settings to explore how students deal with, unravel and communicate the complexity of the controversy" (Christodoulou et al., 2021, p. 4). According to Christodoulou et al. (2021), controversy mapping could have different educational purposes depending on how it is implemented: as a tool for familiarisation, exploration and/or consolidation. The study shown in this paper is part of a larger project which, among other objectives, tries to develop proposals for the inclusion of the CoC approach in shorter teaching sequences that can be applied by teachers who do not have the time to develop a complete enquiry from this approach.

Research question

In this work, we present an adaptation of the CoC approach focusing on controversy mapping as a familiarisation tool. Specifically, we analyse the influence of a controversy mapping activity about excessive meat production and consumption on preservice preschool teachers' (PPTs) environmental awareness. Therefore, the research question is as follows: Are there changes in the PPTs' environmental awareness after participating in an activity based on a CoC device? The researchers' initial hypothesis, based on previous studies (Cruz-Lorite et al., 2021), is that changes might be concentrated to a greater extent in the cognitive and affective dimensions, and to a lesser extent in the conative and active dimensions.

Methodology

This is a non-experimental study with a longitudinal multidimensional ideographic design based on a qualitative methodology of indirect non-participant observation within a mixed approach (Creswell, 2014). It is characterised by the combination of quantitative and qualitative methods, techniques, concepts, or language in a study or series of linked studies (Anguera and Mendo, 2016).

Participants

103 PPTs of two classes (class A, 51 students, and class B, 52 students) participated in this study. They were studying the subject Natural Sciences Teaching in the 3rd course of the Degree in Preschool Education at the University of Málaga during 2019/20. All of them were women, most of them between 20 and 22 years old and studied science for the last time in their compulsory secondary education (15-16 years old).

Learning context

The activity was carried out with each class in three-hour online sessions using the Miro platform (miro.com) to build the maps. This platform allows simultaneous participation of the whole class in an environment that simulates a virtual blackboard. Therefore, each class built one map (Figure 1, next page).

The activity consisted in mapping the PPTs' representation of a controversy. The controversy chosen was the excessive meat production and consumption. First, PPTs were asked individually to think of six actants related to the controversy. Next, PPTs were organised in small groups of 4-5 members to facilitate the process of including the actants on the map. In

each of these small groups, the PPTs had to decide which individually proposed actants would finally be included in the map, choosing only the four most relevant ones. When the actants were included in the map, a dialogue was initiated between the teacher and the PPTs to decide how they would be grouped into different poles. The poles are sets of actants that are grouped according to affinity. PPTs were then asked to establish relationships, linking the actants to each other and the central issue of the controversy, in terms of favourable relationships (when one favours or enhances the action of the other) or unfavourable (if one opposes or hinders the action of the other). Finally, students were asked to propose actions to alleviate the problems related to excessive meat production and consumption that had emerged on the map.

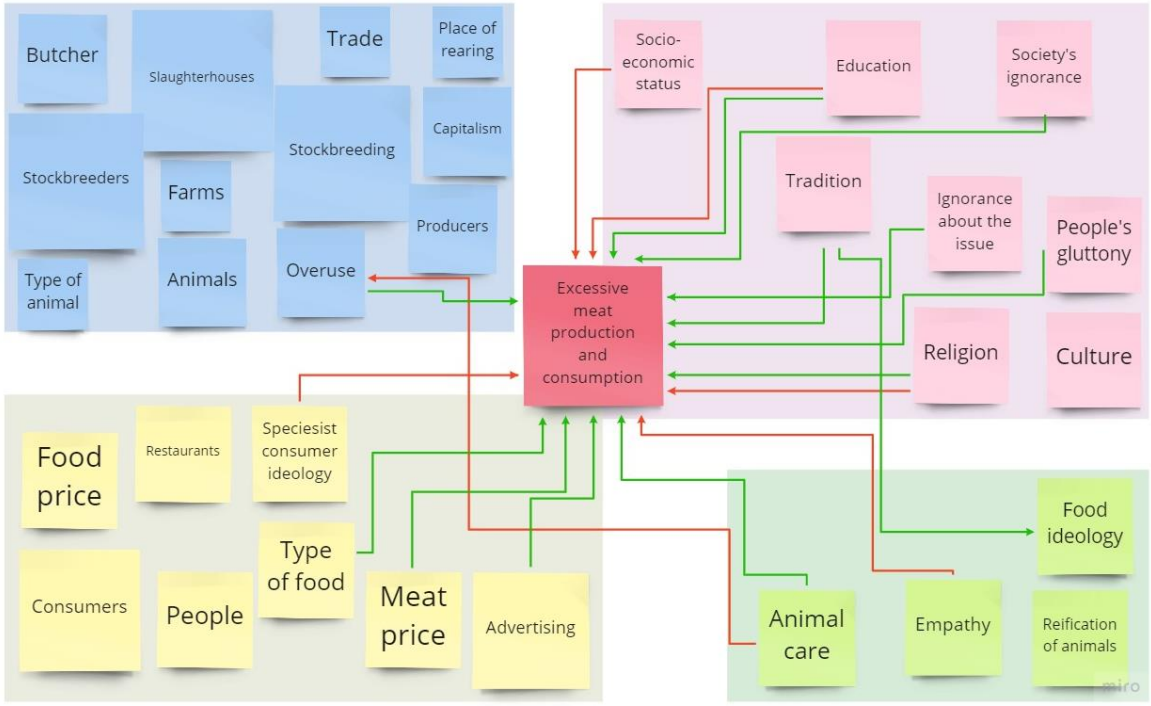


Figure n°1. Map built by class A. Colour code: actants in blue, pole "Production"; actants in pink, pole "Society"; actants in yellow, pole "Consumption"; and actants in green, pole "Ethics and morals".

Data collection

A pre/post-mixed questionnaire was used for data collection. The questionnaire included questions on environmental awareness and others on the didactic use of controversy mapping. However, only the questions concerning environmental awareness are analysed in this paper.

In the case of environmental awareness, open-ended questions were formulated for two reasons. On the one hand, there is a low specificity in the existing instruments for measuring environmental awareness. Although tests exist to measure environmental awareness, those available for the type of sample studied in this work are general, since they aim to measure environmental awareness in a general way rather than specifically about the environmental problems related to the issue of meat production and consumption. Taking into account that people do not have a generic environmental attitude, as environmental awareness depends on the relevance of specific environmental issues to which they are particularly sensitive (Corraliza, 2002), we decided to use open-ended questions to analyse what elements of environmental awareness PPTs bring into play when answering questions related to their meat consumption, which is a data collection method already used in other works (Cruz-Lorite et al., 2021). On the other hand, it has been a traditional preference for quantitative measurement of environmental awareness (e.g. European Commission, 2017; Junta de Andalucía, 2018; Laso et al., 2019). In this sense, Cerrillo (2010) attributed the stagnation suffered by environmental sociology in recent decades, among other factors, to the preference for quantitative methodologies, specifically through the use of surveys, as the results obtained from these did not cease to come up against the inconsistency between declared attitudes and manifest behaviours (the so-called "environmental gap"). For both reasons, we consider that the study of environmental awareness on specific problems requires other methods and instruments more adapted to the specific characteristics of these problems, which can also be complemented by information provided by more generic methods.

In conclusion, the impossibility of using a valid and reliable quantitative instrument led us to consider the use of a qualitative methodology based on a well-established theoretical model, such as that of Chuliá (1995), with the advantage that specific indicators for the characterisation of each of these dimensions had already been proposed (Jiménez et Lafuente, 2006). For all of the above reasons, it was decided to ask an open-ended question in the pre-test, with a sufficiently broad formulation to allow us to study what aspects of environmental awareness, if any, arose spontaneously from the PPTs when dealing with the controversy over meat consumption. This question was: Would you be willing to reduce your meat consumption? Please explain and substantiate your opinion in detail. In the case of the post-test, an open-ended question was also asked. However, in this case, the question was rephrased. Considering the low probability that a single activity would substantially

change the opinions of the PPTs, it was to be expected that many PPTs would provide the same answer in the post-test as in the pre-test, that they would indicate that they thought the same as before the activity, or that they would simply not answer. To avoid this, as far as possible, the question was rephrased by appealing to those specific aspects of their opinion on the controversy that might have been affected. Thus, the question was: Have your initial views on reducing meat consumption changed in any way? If so, please explain and substantiate your opinion.

Data analysis

The PPTs' responses were analysed regarding their position on the question (willingness or unwillingness to reduce meat consumption) and the reasons they provided. The responses were analysed qualitatively using the software Atlas.ti v.9. In the case of the reasons, they were thematically categorised by an open-coding process, obtaining a system of 15 categories (Table 2). The environmental reasons were grouped into the category "Environmental", and in these cases, the environmental awareness analysis was applied using the indicators of Jiménez and Lafuente (2006) (Table 1). An example of the analysis can be seen in Figure 2.

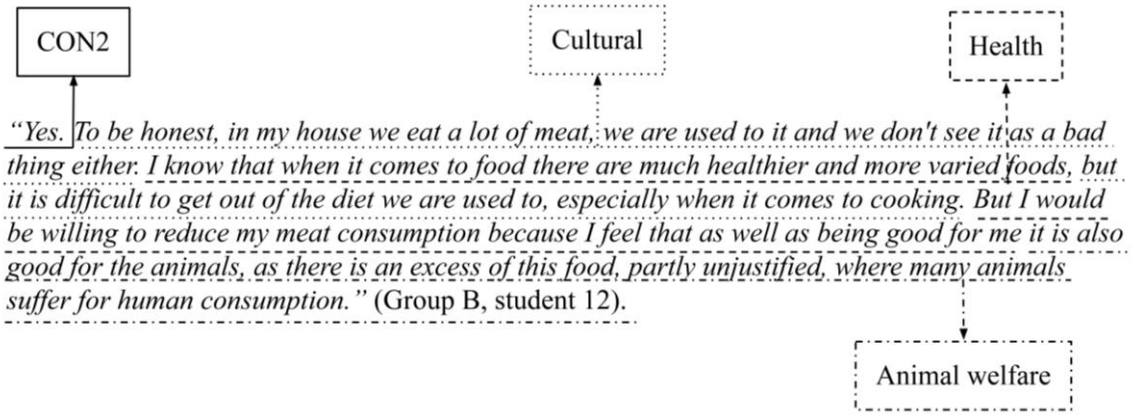


Figure n°2. Example of the analysis of a response.

The "Environmental" category included those reasons that alluded to issues related to environmental awareness, as understood in the Chuliá's (1995) model, on environmental problems related to the current and dominant meat production and consumption model. That is, those that included knowledge, affective issues, attitudes or behaviours in relation to environmental problems directly related to the SAQ addressed. Categories such as "health" or "cultural", for example, include reasons about human health associated with meat

consumption or consumption habits and traditions around meat, respectively, but do not show knowledge, affective aspects, attitudes or behaviours in relation to environmental problems derived from the SAQ. It should be noted that the categories "Endangered species" and "Population control", despite being related to environmental problems and issues, have not been considered environmental reasons related to the SAQ, since the responses included in these categories assumed that human meat consumption is largely based on hunting and that this activity would be mainly responsible for: 1) the existence of endangered species, and 2) the population control of species in the wild. These reasons are to some extent far removed from the environmental problems directly related to the dominant industrial model around meat (at least in Western countries), in which animal production, and not hunting, is what sustains most consumption (Sevillano et al., 2018; Subdirección General de Producciones Ganaderas y Cinegéticas, 2021).

Table n°2. Obtained categories from the reasons analysis and their descriptions.

Category	**Description (topics of the reasons included in each category)**
Health	Eating (or not) meat is healthy/natural; nutrients in meat can be obtained from other foods, healthy preparation methods and risk of diseases.
Animal welfare	Animal mistreatment, make animals freer, feelings of guilt, give animals a dignified death and animals are fed unhealthy food.
Taste of food	Taste of meat and vegetables.
Balanced diet	Reasons that they already have (or do not have) a balanced diet and do not (or do) need to reduce their meat consumption.
Environmental	The meat industry pollutes, meat consumption accelerates climate change, population increase makes meat consumption unsustainable, actions to minimise pollution and buy other types of products.
Cultural	Meat consumption is part of our culture/traditions/habits and restaurants do not have vegetarian/vegan food.
Economic	Many jobs depend on meat, meat is cheap, vegetarian/vegan products are expensive.
Meat quality	Meat currently lacks quality and intention to consume only quality meat.

Category	Description (topics of the reasons included in each category)
Endangered species	Meat consumption affects endangered species.
Population control	Hunting is necessary for population control.
Extreme necessity	They would only stop eating meat in case of extreme need (without specifying), or there was no way of supplying the population.
Criticism of vegans/vegetarians	Vegetarians/vegans view people who eat meat negatively.
Media	Need to be well informed.
Physical appearance	Higher meat consumption is associated with weight gain.
No precise topic	Get to see the problem from other perspectives or consider other actants to analyse it, but without specifying which ones.

Results

79 PPTs answered both pre and post-test. The PPTs provided 188 reasons in their answers in the pre-test and 70 in the post-test, and they were given to justify both willingness and unwillingness to reduce meat consumption. Responses could have several reasons of different types, so the sum of reasons is not equal to the total of the sample. The reasons provided by the PPTs can be seen in Table 3.

The main reasons provided in the pre-test were about health, animal welfare, food taste, a balanced diet (which is significantly related to health), environment and cultural aspects. In the post-test, the main reasons were about health, balanced diet, environment, animal welfare, cultural aspects and meat quality. Of the number of reasons given in the post-test (70), 31 were new compared to those shown in the pre-test. Practically all the environmental reasons given in the post-test, as well as those related to a balanced diet, are reasons provided by PPTs who did not take these reasons into account in their pre-test responses. As noted above, one response could include several reasons, so the 10 new environmental reasons in the post-test correspond to 8 PPTs. Finally, some categories only appear in the pre-test (taste of food, endangered species, population control, extreme necessity, criticism of vegans/vegetarians and media) or the post-test (physical appearance and no precise topic).

Table n°3. Results of the analysis of the reasons found in PPTs' answers. The first post-test column shows data in the way "n(x)", being "n" the total number of reasons in the post-test and "x" the number of new reasons with respect to the pre-test.

Category	**Pre-test**		**Post-test**	
	n	**%**	**n(x)**	**%**
Health	55	29.3	18(3)	25.7
Animal welfare	28	14.9	7(4)	10.0
Taste of food	28	14.9	0(0)	0.0
Balanced diet	23	12.2	11(8)	15.7
Environmental	18	9.6	11(10)	15.7
Cultural	17	9.0	3(2)	4.3
Economic	6	3.2	1(1)	1.4
Meat quality	4	2.1	3(2)	4.3
Endangered species	3	1.6	0(0)	0.0
Population control	2	1.1	0(0)	0.0
Extreme necessity	2	1.1	0(0)	0.0
Criticism of vegans/vegetarians	1	0.5	0(0)	0.0
Media	1	0.5	0(0)	0.0
Physical appearance	0	0.0	1(1)	1.4
No precise topic	0	0.0	15(15)	21.4
Total	188	100.0	70(46)	100.0

The results about the environmental awareness aspects found in the environmental reasons can be seen in Table 4. Responses about the willingness or unwillingness to reduce meat consumption are related to the willingness to engage in a pro-environmental behaviour (indicator CON2), and responses that said they had already reduced their meat consumption (e.g. vegetarian or vegan) are related to a private environmental behaviour (indicator AC1). However, these have not been accounted for in Table 4, because these were not questions that arose spontaneously from students giving their opinion, but rather this information was

requested directly in the question (Would you be willing to reduce your meat consumption?). For this reason, the answers directly related to the question posed were not mixed with other information that the PPTs could offer on these indicators. Below is an example of a response classified in indicator CON2 (included in Table 4) which is not directly related to the question posed:

> "Perhaps I would not change the amount of consumption itself because as I said it was not very high, but I would change the way of doing it or the product to buy." (Class B, student 9)

This answer is about the possibility of changing the type of meat product purchased, which is a willingness to engage in another type of pro-environmental behaviour, not necessarily reducing meat consumption.

Regarding the willingness to reduce meat consumption (results not included in Table 4), before the activity: 37 of the PPTs were willing to reduce their meat consumption, 25 were unwilling to reduce it and 1 answered that she was unsure (conative dimension). The rest did not answer the question clearly. Both groups (willing/unwilling) were similar regarding the reasons provided in their answers, but they show differences in animal welfare (providing 19 and 4 reasons, respectively) and environmental (17 and 5 reasons, respectively). 16 PPTs said they had already reduced their meat consumption or tried to reduce it (active dimension), mainly for health (13) and animal welfare (11) reasons. After the activity, 21 PPTs said that they had changed their initial opinion somewhat, and 56 did not. The PPTs who changed their opinion after the activity provided mainly reasons on health (15) and animal welfare (9). Furthermore, PPTs who answered in the pre-test that they had already reduced their consumption or tried to do so reinforced their positions after the activity.

Regarding the rest of the environmental awareness aspects found in the PPTs' answers (Table 4), the environmental reasons given in the pre and post-test belonged mainly to affective (pre-test = 10; post-test = 6) and cognitive (5; 3) dimensions. Reasons related to the affective dimension are mainly about their personal concern for the environment (AF3). In the case of the cognitive dimension, in both pre-test and post-test, some PPTs show specialised knowledge of the environmental implications of the controversy (COG1). However, they do not show opinions on environmental policies (COG2). Regarding the conative dimension, only three reasons (2; 1) indicated the willingness to assume costs from environmental policy measures (CON1), and there were only two reasons (1; 1) about the willingness to carry out

individual pro-environmental behaviour different from reducing meat consumption (CON2) (see example of student 9, Class B). None of them shows opinions related to the individual effectiveness or responsibility of their actions (CON3). Regarding the active dimension, no other individual behavioural alternatives different from reducing meat consumption (AC1) or collective behaviours (AC2) were provided.

Table n°4. Results of the analysis of environmental awareness in pre- and post-test. The first post-test column shows data in the way "n(x)", being "n" the total number of reasons in the post-test and "x" the number of new reasons with respect to the pre-test.

Category	**Subcategory**	**Pre-test**		**Post-test**	
		n	**%**	**n(x)**	**%**
Affective	AF1. Adherence to pro-environmental values, or the extent to which people make an ecological reading of reality.	1	5.6	1(1)	9.1
	AF2. Severity or degree to which the environment is perceived as a problem that requires more or less urgent intervention.	1	5.6	0(0)	0.0
	AF3. Personal concern for the state of the environment.	7	38.9	5(4)	45.5
	AF4. Priority of environmental problems, implying a hierarchical ranking.	1	5.6	0(0)	0.0
Cognitive	COG1. Specialised knowledge of environmental issues, their causes and consequences.	4	22.2	3(3)	27.3
	COG2. Knowledge and opinions on environmental policy.	0	0.0	0(0)	0.0
	COG3. Degree of general information on environmental issues, or the extent to which people show interest and inform themselves through various sources.	1	5.6	0(0)	0.0
Conative	CON1. Willingness to assume costs associated with different environmental policy measures.	2	11.1	1(1)	9.1
	CON2. Willingness to engage in various pro-environmental behaviours.	1	5.6	1(1)	9.1
	CON3. Perception of the effectiveness and level of responsibility of individual action.	0	0.0	0(0)	0.0
Active	AC1. Private environmental behaviour.	0	0.0	0(0)	0.0
	AC2. Public or symbolic environmental behaviour.	0	0.0	0(0)	0.0
Total		18	100.0	11	100.0

Discussion and conclusions

Before the activity, almost half of the PPTs (46.84%) were willing to reduce their meat consumption. A fourth of them (20.25%) had already reduced their meat consumption or tried to reduce it. Regarding the reasons provided, the PPTs willing to reduce their meat consumption mainly provided animal welfare and environmental reasons. The PPTs who had reduced or tried to reduce their consumption provided health and animal welfare reasons. So, these two last categories seem to be the most important aspects in their opinion changes. In general terms, most of the PPTs' justifications were based on health reasons, in both pre- and post-test, which seems to be the most important aspect for them in dealing with the controversy. Before the activity, aspects such as animal welfare, food taste or balanced diet seemed more relevant for the PPTs than the environmental issues. Furthermore, the limited environmental reasons provided were focused on AF3 and COG1 indicators before and after the activity. These results show that environmental issues are not a priority for these PPTs when it comes to expressing their opinion on the controversy.

In general, related to the PPTs' reasons, these results reflect to some extent the inconsistency between environmental knowledge, the attitudes declared by individuals and their actual behaviour, the aforementioned "environmental gap" (Kollmuss et Agyeman, 2002). In this regard, Murga (2008) argues that knowledge and concern about environmental problems would not be variables with predictive power over behaviour. The difficulty in explaining pro-environmental behaviour based on environmental knowledge has led to the emergence of pro-environmental models that incorporate other aspects that could have a determining influence on environmental awareness, such as moral (Schwartz, 1970) or social norms (Farrow et al., 2017). These moral and social aspects could be represented in this work in the high frequency of the categories "Taste of food" and "Cultural", in the first case, and "Animal welfare" in the second one.

More specifically, related to the environmental reasons, Macdiarmid et al. (2016) conducted a study to explore public awareness of the environmental impact of food and willingness to reduce meat consumption with twelve focus groups involving 83 people. Their results reported that the environmental impact of meat production or its contribution to climate change is rarely mentioned spontaneously. This study provides evidence that public opinion on meat consumption is associated with significant personal, social and cultural values. Taking this into account, and the results obtained in this work, one of the implications for qualitative instruments designed to collect information on environmental awareness, in this

case from PPTs, is that they should explicitly require information about certain environmental aspects.

However, we found a slight increase in the number of environmental reasons after the activity, as 10% of the PPTs who did not consider environmental aspects when giving their opinion on the controversy before participating did include them after the activity. Furthermore, some categories in the pre-test that seem to show naïve ideas about the provenance of the meat consumed by people, such as endangered species and population control, did not appear in the post-test. However, it does not mean that these ideas have been abandoned by the PPTs who provided them in the pre-test. In addition, some PPTs that had adequately justified their answers in the pre-test did not do so in the post-test, with answers being classified in the category "No precise topic". One aspect that may have influenced the occurrence of this type of response is that it was a demanding but non-assessable activity, so PPTs may have relaxed at the end of the activity. In addition, the fact of having to answer the same question twice may have had a demotivating effect on some PPTs, who answered more vaguely on the post-test.

Finally, we conclude that the results show that the CoC device affects the PPTs' environmental awareness even if it is used as a familiarisation tool with a SAQ, but in a very limited way, given that, after participation in the CoC activity, the number of new students providing environmental reasons is low, and their reasons are related to some specific aspects of the affective and cognitive dimensions. The main limitation of this study is the scant capacity of a single open-ended question to gather exhaustive information. This limitation has been noted in the case of information on the PPTs' environmental awareness, although it does not seem to have affected all topics similarly. For that reason, we intend to use these results to develop a more complete instrument in future works. Moreover, one perspective of this work is to understand whether the constructed maps and, in particular, the identified actants allow for developing specific dimensions of the PPTs' environmental awareness. It should also be noted that the validity of the results obtained is limited to the analysis of the effects of the mapping of the PPTs' representation of the controversy, and not to the controversy mapping (Latour, 2005; Venturini, 2010). For this reason, in future experiences, it is intended that PPTs build their map from a corpus of documents.

Acknowledgements

Work funded by the European Social Fund and Spain's National Research Agency through the predoctoral contract PRE2018-083328 (Excellence in R+D project EDU2017-82197-P); by the Spanish Ministry of Science and Innovation through the R+D+i Project PID2019-105765GA-I00 (MCIN/AEI/10.13039/501100011033), and by the University of Málaga through the Project B1-2021_04.

References

Anguera, T. et Mendo, A. (2016). Avances en estudios observacionales de ciencias del deporte desde los mixed methods. *Cuadernos de Psicología, 16*(1), 17-30. https://revistas.um.es/cpd/article/view/254261/191951

Bencze, L., Pouliot, C., Pedretti, E., Simonneaux, L., Simonneaux, J. et Zeidler, D. (2020). SAQ, SSI and STSE education: defending and extending "science-in-context". *Cultural Studies of Science Education, 15*, 825-851. https://doi.org/10.1007/s11422-019-09962-7

Cerrillo, J. A. (2010). Medición de la Conciencia Ambiental: una revisión de la obra de Riley E. Dunlap. *Athenea Digital, 17*, 33-52. https://doi.org/10.5565/rev/athenead/v0n17.609

Christodoulou, A., Levinson, R., Davies, P., Grace, M., Nicholl, J. et Rietdijk, W. (2021). The use of Cartography of Controversy within socioscientific issues-based education: students' mapping of the badger-cattle controversy in England. *International Journal of Science Education, 43*(15), 2479-2500. https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1970852

Chuliá, E. (1995). La conciencia ambiental de los españoles en los noventa. *Analistas socio-políticos, 12*(a), 1-32. https://www.asp-research.com/es/node/412

CIRES [Centro de Investigaciones de la Realidad Social]. (1994). *Medio Ambiente*. http://bitly.ws/u23m

Corraliza, J. A., Martín, R., Moreno, M. et Berenguer, J. (2002). El estudio de la conciencia ambiental. *Medio Ambiente, 40*, 14-18. http://bitly.ws/u25e

Creswell, J. (2014). *Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage.

Cruz-Lorite, I. M., Blanco-López, A., Acebal-Expósito, M. C. et Cebrián-Robles, D. (2021). Análisis de la conciencia ambiental sobre la producción y consumo de carne desde el enfoque de los métodos mixtos. In *XXIX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Córdoba, Spain (online).

European Commission. (2017). *Special Eurobarometer 468: Attitudes of European citizens towards the environment*. http://bitly.ws/u278

Farrow, K., Grolleau, G. et Ibanez, L. (2017). Social norms and pro-environmental behavior: a review of the evidence. *Ecological Economics, 140*, 1-13. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.04.017.

Guitián, J. (January 12th, 2022). Macrogranjas, la carne en el centro del debate. *La Vanguardia*. http://bitly.ws/nEHT

Hervé, N. (2019). L'enquête dans la cartographie des controverses : principes pour une adaptation dans l'enseignement secondaire. In J. Simonneaux (dir.), *La démarche*

d'enquête, contribution à la didactique des Questions Socialement Vives (pp. 171-188). Educagri Editions.
https://doi.org/10.3917/edagri.simon.2018.01.0171

Jiménez, M. et Lafuente, R. (2006). La operacionalización del concepto de conciencia ambiental en las encuestas. In R. de Castro (Coord.) *Persona, Sociedad y Medio Ambiente* (pp. 121-150). Junta de Andalucía. http://bitly.ws/u3RD

Junta de Andalucía. (2018). *Ecobarómetro de Andalucía 2018*. http://bitly.ws/Fwn2

Kollmuss, A. et Agyeman, J. (2002). Mind the Gap: Why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? *Environmental Education Research, 8*(3), 239-260. https://doi.org/10.1080/13504620220145401.

Laso, S., Marbán, J. M. et Pastrana, M. (2019). Diseño y validación de una escala para la medición de conciencia ambiental en los futuros maestros de primaria. *Profesorado. Revista de Currículum y Formación de Profesorado, 23*(3), 297-316. https://doi.org/10.30827/profesorado.v23i3.11181

Latour, B. (1996). On actor-network theory. A few clarifications plus more than a few complications. *Soziale Welt, 47*, 369-381.

Latour, B. (2005). Reassembling the social: An introduction to actor-network-theory. New York, NY: Oxford University Press.

Macdiarmid, J. I., Douglas, F. et Campbell, J. (2016). Eating like there's no tomorrow: Public awareness of the environmental impact of food and reluctance to eat less meat as part of a sustainable diet. *Appetite, 96*, 487-493.
https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.10.011

Mitloehner, F. (2018). Livestock's contributions to climate change: Facts and fiction. In T. E. Engle, D. J. Klingborg et B. E. Rollin (Eds.), *The welfare of cattle* (p. 27-30). CRC Press.

Morin, O., Simonneaux, L. et Tytler, R. (2017). Engaging with socially acute questions: development and validation of an interactional reasoning framework. *Journal of Research in Science Teaching, 54*(7), 825-851. https://doi.org/10.1002/tea.21386

Mozaffarian, D. (2016). Dietary and policy priorities for cardiovascular disease, diabetes, and obesity. *Circulation, 133*(2), 187-225.

Muñoz, A. (2012). *Concepto, expresión y dimensiones de la conciencia ambiental. El papel de la cultura científica*. Editorial Académica Española.

Murga, M. A. (2008). Percepciones, valores y actitudes ante el desarrollo sostenible. Detección de necesidades educativas en estudiantes universitarios. *Revista Española de Pedagogía, 240*, 327-344.

Prati, G., Albanesi, C. et Pietrantoni, L. (2017). The interplay among environmental attitudes, pro-environmental behavior, social identity, and pro-environmental institutional climate. A longitudinal study. *Environmental Education Research, 23*(2), 176-191. https://doi.org/10.1080/13504622.2015.1118752

Schwartz, S. H. (1970). Elicitation of moral obligation and self-sacrificing behavior: An experimental study of volunteering to be a bone marrow donor. *Journal of Personality and Social Psychology, 15*(4), 283-293. https://doi.org/10.1037/h0029614.

Sevillano, J., Moreno-Ortega, A., Amaro, M. A., Arenas, A., Cámara-Martos, F. et Moreno-Rojas, R. (2018). Game meat consumption by hunters and their relatives: a probabilistic approach. *Food Additives & Contaminants, 35*(9), 1739-1748. https://doi.org/10.1080/19440049.2018.1488183

Simonneaux, L. (2008). L'enseignement des questions socialement vives et l'éducation au développement durable. *Pour, 198*(3), 179-185.
https://doi.org/10.3917/pour.198.0179

Subdirección General de Producciones Ganaderas y Cinegéticas. (2021). Caracterización del sector vacuno de carne en España. *Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado*. https://cpage.mpr.gob.es/

Susilawati., Aznam, N., Paidi. et Irwanto, I. (2021). Socio-scientific issues as a vehicle to promote soft skills and environmental awareness. *European Journal of Educational Research, 10*(1), 161-174. https://doi.org/10.12973/eu-jer.10.1.161

Venturini, T. (2010). Diving in magma: how to explore controversies with actor-network theory. *Public Understanding of Science, 19*(3), 258-273. https://doi.org/10.1177/096366250910269

Liste des relecteurs des différents chapitres

Bachtold Manuel
Barroca-Paccard Marco
Bécu-Robinault Karine
Boilevin Jean-Marie
Boyer Antonin
Boyer Catherine
Canac Sophie
Cancia Nadia
Chalak Hanaa
Chalmeau Raphaël
Charles Frédéric
Crépin-Obert Patricia
Cross David
De Hosson Cécile
Decamp Nicolas
Delserieys Alice
Dessart François
Ducamp Christine
EL Hage Suzanne
Fortin Corinne
Groleau Audrey
Hervé Nicolas
Hyndricks Marie-Noelle
Kermen Isabelle
Khanfour Armalé Rita
Kilani Chiraz
Le Hebel Florence
Léna Jean-Yves
Lhoste Yann
Lipp Amélie
Maish Clément
Marlot Corinne
Maron Valentin
Marty Laurence
Marzin-Janvier Patricia
Morin Olivier
Munier Valérie
Orange Christian
Orange Denise
Pélissier Lionel
Perron Séverine
Plé Elisabeth
Roy Patrick
Scheneeberger Patricia
Simard Catherine
Tiberghien Andrée
Urgelli Benoit
Venturini Patrice
Zaid Abdelkarim

Index des auteurs

Acebal-Expósito María del Carmen ... 507
Barroudi Aicha ... 465
Ben Kilani Chiraz ... 265
Bergamaschi Gabrielle ... 369
Blat Muriel ... 305
Boilevin Jean-Marie ... 305
Bouard Rémi ... 413
Bovy Emilie ... 431
Boyer Catherine ... 323
Bruguière Catherine ... 33
Canac Sophie ... 413
Castagneyrol Bastien ... 155
Cebrián-Robles Daniel ... 507
Chalak Hanaà ... 207
Chalmeau Raphaël ... 369, 391
Cochepin Medhi ... 223
Courdent Albine ... 447
Cruz-Lorite Isabel María ... 507
Daro Sabine ... 431
Decroix Anne-Amandine ... 447
Delplancke Malou ... 207
Dufresne Jean-Louis ... 223
Fortin Corinne ... 171
Germann Benjamin ... 487
Groleau Audrey ... 13
Hervé Nicolas ... 191, 507
Hindryckx Marie-Noëlle ... 431
Huez Julitte ... 191
Javoy Sandra ... 345
Julien Marie-Pierre ... 391
Kermen Isabelle ... 285, 413
Lafitole Monique ... 369
Léna Jean-Yves ... 391
Lhoste Yann ... 25, 89, 133
Mahjoub Afifa ... 265
Marchal-Gaillard Valérie ... 251
Marlot Corinne ... 25, 89, 109, 133
Maron Valentin ... 223
Marzin-Janvier Patricia 71, 145, 155, 305
Mehdi Fatme ... 323
Mimoune Mehdi ... 447
Morin Olivier ... 13, 133
Mortelecque Lucile ... 369
Mourgues Sophie ... 369
Orange Christian ... 51
Orange Ravachol Denise ... 51, 251
Panissal Nathalie ... 487
Paulin Fabienne ... 33
Pélissier Lionel ... 223
Perron Séverine ... 145, 155
Rabier Alain ... 223
Ramos Beato Maéva ... 369
Roy Patrick ... 109
Sawtschuk Jérôme ... 155
Schneeberger Patricia ... 71
Seixas Mello Paula ... 71
Turpin Sébastien ... 171
Yernaux Dominique ... 431
Zabel Jörg ... 33
Zaid Abdelkarim ... 323

ARDIST
ASSOCIATION POUR LA RECHERCHE
EN DIDACTIQUE DES SCIENCES ET DES TECHNOLOGIES