

Les circuits électriques, entre montages et représentations graphiques. Exemple à l'école primaire.

SOUDANI Mohamed, HERAUD Jean-Loup, SOUDANI Olfa, LEPS –LIRDHIST (EA 4148), Université de Lyon, Lyon, F-69000, France ; Université Lyon 1, Villeurbanne, F-69622, France
mohamed.soudani@univ-lyon1.fr

Mots-clés : circuits électriques, école primaire, schématisation, sémiotique, didactique, épistémologie

Résumé

Cette communication se propose de tester la pertinence des concepts et outils sémiotiques de C.S. Peirce dans l'analyse d'une séance précise, portant sur l'électricité, dans une classe de CM1-CM2 (élèves de 9-10 ans) engagée dans un dispositif didactique baptisé « ateliers scientifiques ». Ces élèves sont inscrits dans un « projet » de classe allant d'une l'appropriation de connaissances à une communication de ces connaissances destinée aux élèves plus jeunes des autres niveaux de l'école. C'est la dimension épistémologique de ce processus de conceptualisation par les élèves sous la conduite de l'enseignant qui nous intéresse.

L'utilisation de la théorie sémiotique de Peirce pour l'analyse de ce corpus a permis de cerner les enjeux épistémologico-didactiques présents dans la construction et la manipulation des signes par l'enseignant d'une part, et par les élèves d'autre part, dans le processus de conceptualisation du circuit électrique en « parallèle ». La théorie de Peirce nous a particulièrement permis de cerner l'importance de la tripartition du signe (icône, indice, symbole) dans une démarche didactique mettant en jeu des relations entre montage réel, maquette et concepts, au service de la conceptualisation de ce type de circuit.

1. Position du problème et cadre théorique

L'électrocinétique a constitué, pendant de nombreuses années, un des premiers champs d'étude et de recherche en didactique de la physique¹. L'étude de l'électrocinétique est au carrefour des représentations graphiques, de l'expérimentation matérielle, de l'expérimentation de pensée qu'on appellera *expérience possible* (Soudani et al. 2009), du

¹ Le lecteur peut se référer, entre autres, aux nombreux articles publiés, depuis les années 70, dans les Revues : Revue Française de Pédagogie, Bulletin de l'Union des Physiciens (<http://www.udppc.asso.fr/bupdoc/index.php>), Bulletin de l'APISP (<http://www.ac-grenoble.fr/apisp/bulletin/bulletin.htm>), International Journal of Science Education (<http://www.tandf.co.uk/journals/titles/09500693.asp>), European Journal of Science Education, Aster (<http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8527>), Didaskalia (<http://didaskalia.pistes.org/>), mais également aux ouvrages : Johsua et Dupin (1989), *Représentations et modélisations : le "débat scientifique" dans la classe et l'apprentissage de la physique*, Berne : Peter Lang , 220 p ; Johsua et Dupin (1993), *Initiation à la didactique des sciences et des mathématiques*, PUF, Paris, 422 p ; ou encore à l'article de D. Beaufils (1998) « Vingt années de thèses en didactique de la physique et de la chimie ». Aster n°27, INRP, Paris, pp23-43.

raisonnement qualitatif mais également quantitatif... Selon les termes de Halbwachs (1974), connaître une situation physique, ici des montages électriques en CM1-CM2, c'est la représenter par un système de signes, élaboré dans une structure cohérente qui rend cette situation intelligible. C'est en ce sens que nous faisons appel à la théorie sémiotique de Peirce. Celle-ci souligne que le jeu de signes est le fondement épistémologique de la connaissance. Il a pour fonction d'explicitier et de reconstruire graduellement, sous différentes formes et selon différentes perspectives, une connaissance approfondie de l'objet ou du phénomène réel.

Nous nous proposons d'analyser les enjeux épistémologico-didactiques de la construction et l'agencement (coordination) de ces signes (au sens de Peirce) par l'enseignant d'une part, et par les élèves d'autre part, dans le processus de conceptualisation à l'école primaire du circuit électrique « parallèle ». Nous essayerons d'analyser dans quelle mesure l'approche adoptée par l'enseignant permet de construire des signes, conventionnels, et d'établir les relations nécessaires entre eux d'une part, et entre eux et l'objet d'étude (les montages électriques) d'autre part, pour conceptualiser ce type de circuit.

Deux raisons principales président à notre choix de tester la pertinence de cette théorie pour notre étude sur le corpus présenté ici². D'une part, cette théorie souligne l'importance et la nécessité, pour la conceptualisation, d'un rapport ternaire *signe-objet-interprétant*³ (*signe1-objet-signe2, par exemple, mot1-objet-mot2-...*) dans un processus dynamique, constamment révisable. D'autre part, outre le signe linguistique qui est à la fois un objet de construction (comme tous les autres signes) et l'outil privilégié pour la construction des autres registres, elle a un volet théorie *formelle* du signe iconique (ou figuratif) qui est au cœur du raisonnement en électrocinétique⁴. Celui-ci provient de sa culture mathématique, tels les signes graphiques de l'algèbre ou de la géométrie condensant pour l'œil les écritures verbales discursives (Chauviré, 2008).

Peirce distingue trois catégories de signes :

- l'indice, lié à l'objet réel, à nos perceptions, à nos sens, et qu'on peut étendre aux instruments de mesure,
- l'icône, de nature graphique, il regroupe montage, maquette, photo, dessin, tableau, diagramme, schéma, le plan, etc.
- le symbole, de nature conventionnelle, qui relève du langage naturel ou de l'algèbre...

On a tendance à croire que les capacités d'abstraction chez les élèves de l'école primaire sont trop limitées pour pouvoir les engager dans des activités de conceptualisation, comme dans le cas des circuits électriques tels qu'ils sont abordés habituellement au niveau collège. Cette conception entraînerait une centration sur l'expérience, une centration sur un rapport de type pratique aux objets, leur manipulation, leur description (Coquidé, 2000). Elle entraînerait un usage du signe iconique restreint à la catégorie du dessin descriptif, lui accordant le simple rôle de reproduire les traits observables de l'objet réel. Une « autocensure » qui limite les possibilités de raisonnement possible sur le réel. Or, Peirce insiste sur le fait qu'il n'est pas

² Pour une autre présentation de cette conception triadique, voir Bruguière-Héraud (2007, 2008a, 2008b) et Soudani et al. 2009.

³ L'interprétant n'étant pas la personne qui interprète, mais un second signe qui vient donner du sens au premier, pour rendre la situation physique intelligible, dans un processus dynamique...

⁴ Dans un travail mené auprès d'élèves et étudiants de plusieurs niveaux scolaires et universitaires, Johsua (1984) avait mis en évidence les « effets comparés de la présence et de l'absence d'un schéma dans la conduite d'un raisonnement en électrocinétique ». Il a montré que l'intermédiaire schématique facilite l'approche du problème, il constitue une aide précieuse dans la conduite d'un raisonnement, économique et efficace, en électrocinétique.

nécessaire que le signe iconique possède une ressemblance visuelle avec l'objet ou avec le phénomène étudié. Il est, selon Peirce, le résultat d'un processus d'interprétation d'indices perçus, traitement de l'information perçue de l'objet, donnant lieu le plus souvent à une abstraction qui rend compte du fonctionnement de cet objet, des interactions entre ses parties et/ou entre l'objet et son environnement. Bien qu'il représente l'objet, il peut (doit, le plus souvent) prendre de la distance par rapport à celui-ci afin d'assurer le passage de l'empirique au conceptuel. De quelle nature les signes iconiques mobilisés dans la classe seront-il alors ? Quel sera leur statut/rôle par rapport à l'objet ?

2. contexte du travail

2.1 Descriptif des ateliers scientifiques

Notre analyse s'inscrit dans un projet d'une école primaire, baptisé par les enseignants « ateliers scientifiques ». Ces enseignants ont élaboré un projet d'école intitulé : *"En créant, communiquant, expérimentant, qu'est-ce que j'apprends ?"* avec de véritables enjeux de communication entre élèves d'une même classe, mais aussi entre classes de niveaux différents (voir tableau 1), autour d'objets d'apprentissage identifiés expérimentalement et conceptuellement (en physique, mathématiques et sciences de la Vie et de la Terre). L'organisation de ces ateliers comprend trois phases :

1ère phase	2ème phase	3ème phase
Quatre séances de cours conçues par les enseignants comme l'étude de situations problèmes.	Deux séances de préparation aux échanges élèves-élèves (vers d'autres classes d'un autre niveau scolaire, plus ou moins élevé que le leur).	Une séance d'échange effectif où un groupe d'élèves vient exposer ses travaux devant des élèves d'une autre classe (dès la seconde phase, les élèves d'une classe donnée sont séparés en trois groupes qui vont chacun exposer à une autre classe connue.

Tableau : Organisation des ateliers scientifiques en trois phases

2.2 Méthodes

Pour apporter des éléments de réponses à ces questions, nous avons procédé par deux enregistrements indépendants : vidéo et audio, pour une meilleure sécurité quant aux données recueillies, soit près de 27 heures d'enregistrement au total (en double enregistrement). Différentes séances de classes ont déjà été intégralement transcrites.

3. Analyse du dispositif d'électricité

Toutes les séances commencent par la présentation d'une fiche qui d'une part interroge les élèves sur leurs connaissances antérieures, et d'autre part leur présente une sorte d'énigme, dit leur enseignant, à laquelle ils sont invités à trouver des solutions. A chaque fois qu'ils ont résolu une énigme, l'enseignant leur soumet une suivante.

Après avoir construit le concept de circuit électrique en série, et exploré ses « limites », les élèves abordent la construction d'un autre montage palliant les inconvénients du premier, que l'enseignant va nommer circuit en « parallèle ». A son tour, ce dernier va être supplanté par ce qu'il va appeler circuit « en dérivation » : ces termes sont conceptuellement synonymes du point de vue physique, mais différent du point de vue mathématique. [Il est à noter que l'utilisation du terme « parallèle » fait sortir l'enseignant du cadre de la physique en référence à l'objet (le montage électrique) pour le transporter dans un cadre conceptuel de nature mathématique. [En termes peirciens, le changement d'un signifiant de type physique pour un signifiant de type mathématique crée un glissement d'interprétation du phénomène en jeu : l'introduction du signifiant géométrique « parallèle » dans un contexte de connaissance physique créant une nouvelle forme d'intelligibilité.]

3.1 Analyse a priori

L'approche adoptée par l'enseignant met en œuvre des phases ritualisées : elle est inductive, où l'expérience sur le réel est première et tâtonnante, à la recherche de montages de plus en plus « performants ». Les élèves évoluent par la suite dans le registre iconique, d'une représentation à une autre pour représenter ces montages. Vient enfin une phase de verbalisation où ils attribuent un mot aux circuits correspondants.

Au départ, le montage n'est évoqué que par la consigne de l'enseignant, les élèves ne le connaissent pas encore. Son nom est simplement à « re-trouver », ils sont supposés le détenir et maîtriser son sens et ses usages à l'issue des cours de géométrie (en mathématiques) préalables à ceux de l'électricité. Une activité de représentation graphique préalable pourrait le faire exister avant termes, le faire exister sur la feuille pour pouvoir raisonner sur les possibles avant même de le réaliser, pour pouvoir raisonner sur des schémas de circuits correspondants.

Tel qu'il a été réalisé par les élèves, le montage, désigné par « parallèle » par l'enseignant, sera dans une configuration géométrique telle qu'il ne leur permettrait pas de lui attribuer ce nom, pourtant celui-ci préexiste dans leur vocabulaire. Cette tâche est d'autant plus difficile que le montage devient plus complexe, notamment le montage avec quatre lampes en parallèle.

Bien que la question dite énigmatique semble ouverte, la situation expérimentale (matérielle) ne laisse pas beaucoup de choix aux élèves : le nombre de fils et de lampe que l'enseignant donne aux élèves ne peut que les mettre sur voie de la réponse (voir ci-dessous). La situation de « recherche » peut ici se limiter à un aspect combinatoire.

Pour des élèves de cet âge, la fiche présente une grande richesse de tâches et de mots tels que :

1. Le mot modélisation, dont la signification est souvent encore floue même chez des professeurs stagiaires de physique-chimie.
2. Le mot représentation (qu'il faut comprendre au sens de représentation mentale, au sens de conception), mais en même temps le verbe représenter qu'il faut entendre au sens de représentation graphique. On y retrouve également les verbes « dessine », « schématise », « représente ». On pourrait penser que l'enseignant les prend pour synonyme et cherche à

offrir à l'élève le sens qu'il comprend le mieux, pour ouvrir leurs productions à tous les possibles. On pourrait également penser qu'il s'agit de la gradation que les élèves doivent suivre tout au long de la conceptualisation : dessin, schéma, toute autre représentation fonctionnelle possible.

3. Manipulation, expérimentation, et enfin l'explication en quelques lignes de ce qu'ils ont réalisé, c'est-à-dire mettre des mots sur les choses.

L'enjeu pour l'enseignant est de faire construire aux élèves des références communes consistant en des représentations symboliques conventionnelles et des mots ayant le même sens scientifique pour tous.

Ayant reçu un enseignement sur les figures géométriques, notamment sur la notion de parallèle, en mathématique, les élèves sont invités à réinvestir cette notion pour la transposer sur un type de circuit électrique. Or, l'évidence n'est qu'apparente. Il y a un conflit, voire une contradiction, entre la signification physique de « parallèle » et son sens originellement mathématique. D'ailleurs, c'est probablement cette contrainte qui a conduit l'enseignant à présenter les fils conducteurs par des droites, en « s'interdisant » de rabattre les fils au niveau des lampes pour conserver le diamètre des lampes. L'indice présenté aux enfants est purement intuitif. Viard (2002) avait noté que les étudiants restent au niveau matériel, et la représentation schématique n'a pour eux qu'une valeur géométrique. Ils passent donc à côté de la compréhension du phénomène physique. Qu'en sera-t-il dans le cadre de notre corpus ?

3.2 Analyse de quelques productions de la classe

Tout au long de l'atelier électricité, le point de départ de l'enseignant est le plus souvent du type inductif. Le maître donne aux élèves une pile, quatre lampes et cinq fils en leur demandant d'utiliser tout ce matériel. Dans cette situation, le matériel donné et la contrainte d'utilisation de tous les éléments ne permettent qu'un seul agencement permettant d'éclairer toutes les pièces de « la maison ». Si bien que si les élèves sont mis apparemment en situation énigmatique, la résolution tient moins au raisonnement des élèves qu'à la contrainte matérielle imposée par le maître. La consigne donnée par l'enseignant impose aux élèves la résolution de ladite énigme directement par la réalisation du montage électrique. Le milieu (au sens de Brousseau, 1998) est fermé ; les élèves ont peu de risque de se tromper. Il est auto-suffisant, puisqu'il permet en plus à l'élève de valider son montage (en rapport direct avec l'objet de connaissance –le montage électrique–) par le seul indice visuel qui est l'allumage des quatre lampes. Vue sous cet angle, cette situation n'est pas a priori propice à des écarts avec la réponse attendue, et ne permettrait pas d'amorcer un débat dans la classe, bien que, du point de vue physique, cet indice ne soit pas suffisant en termes de validation.

Le corpus que nous avons analysé ici à la lumière de la théorie de Peirce nous permet de dire que l'expérience, comme étant élément du milieu (Brousseau, 1998), ne peut suffire à la conceptualisation. Les concepts ne jaillissent pas de l'expérience, quelle qu'en soit la rigueur, et bien qu'elle en constitue le cœur battant. Elle n'a de sens que quand elle est associée à un raisonnement par et avec des signes. C'est l'espace de discussion offert par l'enseignant dans la phase de production de signes iconiques (en particulier) de leur production manipulatoire qui s'avère propice à la construction du savoir

3.2.a Le circuit en série

L'examen des productions individuelles de binômes d'élèves montre nettement une différence d'abstraction entre les élèves. Par exemple, là où un élève pour représenter son montage électrique dessine en détail la lampe avec son ampoule, son culot, son filament, sa douille..., d'autres élèves représentent cette même lampe par un simple cercle. On a ici une différence qualitative de représentation iconique au sens de Peirce, qui traduit une différence de conceptualisation entre les élèves. Elle devrait provoquer en retour une approche didactique de différenciation de la part de l'enseignant. C'est tout l'intérêt de la théorie de la schématisation chez Peirce que de tirer des enjeux épistémologiques les conséquences didactiques : à savoir mettre en oeuvre le processus de conceptualisation tout en prenant en compte la différence de rythme des élèves dans ce processus.

La tâche de l'enseignant a donc été de faire converger les élèves dans une même référence commune. La phase de synthèse doit donner lieu à un schéma plus abstrait, où certains détails du montage expérimental ont été gommés, mais pas d'autres, gardant ainsi des traits de rapprochement avec le « réel ». Par contre, cette représentation se doit de faire apparaître clairement des traits qui permettent à l'enseignant de faire émerger le mot recherché, un interprétant : « *ce montage s'appelle un circuit en série car tous les éléments sont liés les uns à la suite des autres* ». Le mot « circuit » semble déjà avoir été construit auparavant. Ainsi, la verbalisation permet de mobiliser des mots existant déjà dans le répertoire lexical des élèves, pour qu'ils les réutilisent dans de nouveaux contextes avec plus ou moins d'extension de sens.

Par ailleurs, le fonctionnement de la classe permet d'identifier des phases ritualisées qui constituent une démarche économique et crée une dynamique d'explication, d'exploration des limites de chaque montage, avec de vrais débats entre élèves d'une part et élèves et enseignant d'autre part, riches et constructifs (comme le montrent ces extraits ci-dessous du corpus). En leur faisant explorer les avantages et les inconvénients d'un type de circuit donné, l'enseignant les met sur la recherche d'un autre type de circuit plus performant.

le maître demande aux élèves de revenir sur leur circuit en dérivation et d'en trouver les avantages et inconvénients pour répondre aux questions de la fiche-consigne (fiche de travail distribuée aux élèves en début de séance) en question⁵.

42-P Alors, les inconvénients de ce type de circuit ?... En dérivation ? ... vous pouvez regarder votre ... comment dire ... votre schéma, le schéma que vous avez réalisé ... Sandrine ?

L'échange qui suit cette demande montre que les élèves sont concentrés sur les inconvénients de leur montage matériel plutôt que sur les propriétés électriques du circuit.

43-sa Y a beaucoup de fils ... on se mélangeait des fois ... on sait pas si c'est branché ou pas

44-P Alors, il y a beaucoup de fils... oui... Pardon ?

45-sa Sur une prise d'un côté de l'ampoule il y a déjà deux fils ...

46-P Oui ?

47-sa des fois on peut pas accrocher les deux

48-P Tu veux dire sur les bornes d'une ampoule, il y a 4 fils en fait... hein ? deux fils pour une borne et deux fils pour l'autre

49-do Ça peut facilement se décrocher

50-P Ça peut facilement se décrocher ... surtout avec le matériel qu'on a, oui.

⁵ Dans la transcription, la lettre P désigne le professeur, les autres lettres désignent les initiales de prénom des élèves.

D'où la phase suivante de conceptualisation des circuits en parallèle.

3.2.b Le circuit en « parallèle »

Sur le plan matériel, l'enseignant présente aux élèves exactement le nombre de fils, de lampes et de piles nécessaire à l'éclairage de toutes les pièces de « la maison » en palliant les inconvénients du circuit en série. Son but est à la fois empirique –une familiarisation pratique (Coquidé, 2000)- et conceptuel. Il voulait que l'expérience et la représentation graphique du montage fassent émerger le mot « parallèle ».

La consigne étant : « Tu as à ta disposition : une pile plate de 4,5V, 4 ampoules avec leurs douilles, 8 fils [...]. Qu'est-ce que tu constates ? Schématise ton nouveau montage. »

La réponse attendue est a priori unique. Les élèves ont réalisé leurs montages et produit des graphiques dont deux exemples sont représentés dans la figure 1 ci-dessous. Ces représentations ne sont pas des schémas, telles qu'on les entend selon Peirce, même après plusieurs « entraînements » sur les circuits précédents.

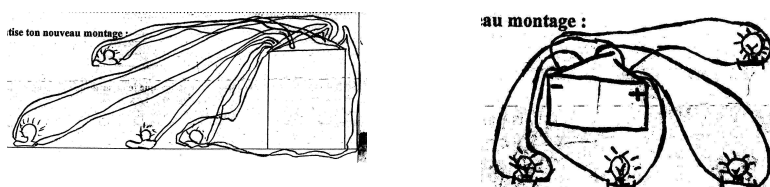


Fig. 1 : Exemples de représentations graphiques de montages réalisés par les élèves

Les diverses productions graphiques des élèves montrent que le rapport binaire objet-signe (montage et représentation graphique) est insuffisant pour faire émerger « le mot » désignant la chose car la conceptualisation comme le souligne Peirce nécessite la construction du rapport ternaire *objet-signe-interprétant* : ici l'interprétant (deuxième signe nécessaire à la conceptualisation) est le terme « parallèle ». L'enseignant a anticipé que les élèves ne penseraient pas spontanément au terme qu'il vise, pourtant il prévoyait qu'ils mobilisent la notion de « parallèle abordée précédemment en cours sur la géométrie. Il leur a alors présenté le schéma de la figure 2 ci-dessous qu'il croyait être suffisamment parlant pour faire émerger le signe langagier « parallèle ». L'idée, selon Peirce, est donc intéressante, bien qu'elle soit artificielle dans ce cas précis.

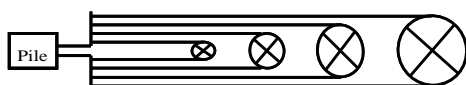


Fig. 2 : Schéma d'un circuit en parallèle proposé par l'enseignant pour faire émerger le mot « parallèle »

L'idée de l'enseignant est une approche par « réinvestissement » des connaissances acquises par ailleurs en cours de maths : il s'agit d'opérer une extension de sens : « *il correspond à une notion de géométrie de nous avons déjà vue* », précise l'enseignant dans la consigne donnée aux élèves. Par contre, par manque d'analyse de sa proposition, il a été surpris des réponses des élèves. Ce circuit a reçu de la part des élèves beaucoup de titres possibles sans celui attendu. L'enseignant a été obligé de « lâcher » le mot ! Ceci illustre bien qu'une même chose peut être désignée par des mots différents selon les personnes, selon leur sensibilité et que, ce qui nous intéresse le plus ici, un même mot ne désigne pas forcément la même chose pour la classe et pour l'enseignant. La « chose » permet de donner du sens, mais elle ne porte pas de sens en son sein.

4. CONCLUSION

Ces ateliers scientifiques ont été pour les enseignants un réel espace pour exercer et développer leurs compétences professionnelles, et pour les élèves un lieu de construction / appropriation d'un savoir qui demande la mobilisation et la construction de deux structures en synergie : une structure praxéologique (objets, procédures manipulatoires) et une autre « théorique » (signes, procédure syntaxiques), se donnant du sens mutuellement. L'enseignant prend très rarement position dans le débat des élèves, il sert le plus souvent d'arbitre et d'impulseur du débat. Il ne cherche pas seulement les bonnes réponses, mais s'appuie aussi les erreurs des élèves pour les faire évoluer. Cependant la nature de la situation de la structure praxéologique entraîne un glissement du travail des élèves du sens physique au sens combinatoire et logique.

La lecture que nous faisons de la théorie sémiotique de Peirce nous permet de conclure que l'approche adoptée par l'enseignant, outre son caractère inductif, est basée sur l'indice visuel d'une part et sur le principe d'analogie, porté par l'icône, d'autre part. Toutefois, pour remplir sa fonction didactique, Peirce nous dit que cette analogie ne devait pas s'entendre comme une simple ressemblance visuelle, mais comme un système de codage à part entière.

Bibliographie

- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage
- Bruguière, C. & Heraud, J.L. (2007). « Enjeux épistémologique et scientifiques autour de l'interprétation de dessins de fiction au cycle 2 de l'école primaire ». In *Actes du Colloque de l'Ardist*. La Grande Motte.
- Bruguière, C. & Heraud, J.L. (2008a). Film et scénario de classe. in J.P. Sautot, coord. *Le film de classe, entre sémiotique et didactique, intérêt et limites du film de classe dans l'analyse des données didactiques* ». Presses Universitaires de Lyon.
- Bruguière, C. & Heraud, J.L. (2008b). « Une « démarche inductive » dans la problématisation de faits didactiques : questions pour une épistémologie de l'interprétation sur un album de jeunesse en didactique de la biologie ». In *Méthodes de recherche en didactiques : Questionner l'implicite*, Colloque Villeneuve d'Asq (à paraître P. U. de Lille)
- Chauviré, C. (2008). *L'œil mathématique, essai sur la philosophie mathématique de Peirce*. Kimé
- Coquidé, M. (2000). *Le rapport expérimental au vivant*. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches : Université d'Orsay Paris-sud. (téléchargeable sur le site de UMR STEF)
- Halbwachs, F. (1974). *La pensée physique chez l'enfant et le savant*. Delachaux et Niestlé, collection Zethos
- Johsua, S. (1984). Effets comparés de la présence et de l'absence d'un schéma dans la conduite d'un raisonnement en électrocinétique », *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 660, 523-530.
- PEIRCE, C.S. (trad.1978). *Ecrits sur le signe*. Seuil
- PEIRCE, C.S. (1958). *The Collectors Papers*, 8 vol. Mass. University Press (Vol.1 à 6 : 1931-1935, Vol.7-8)

Soudani, M., Héraud, J.-L. & Soudani, O. (2009). De la sémiotique à l'épistémologie de la schématisation. L'exemple d'une séquence sur les circuits électriques à l'école primaire. *Aster*, 48, à paraître.

Viard, J. (2002). De l'intérêt de respecter la spécificité des disciplines scientifiques et technologiques dans l'enseignement. Le cas de la conduction électrique. *Didaskalia*, 20, 9-40.