

# Cadre d'analyse du savoir en chimie

*Mise à l'épreuve sur l'analyse de  
séances de classe*

Isabelle Kermen

Laboratoire de Didactique André Revuz (LDAR)

Université d'Artois, Université Paris VII - Paris Diderot :  
EA4434, Université de Rouen, Université de Cergy Pontoise,  
Université Paris XII - Paris-Est Créteil Val-de-Marne (UPEC)

## Résumé

Cette communication présente un cadre d'analyse du savoir « évolution des systèmes chimiques » dans l'enseignement secondaire, qui distingue la réalité perçue et la réalité idéalisée du niveau des modèles. Le cadre est mis à l'épreuve pour analyser des raisonnements d'élèves en terminale dans deux études de cas en séance de travaux pratiques, ce qui met en évidence le rôle prédictif ou explicatif des modèles et le manque de certains liens faits par les élèves entre niveaux de savoirs.

## Mots-clés

Didactique de la chimie, modèle, réalité, transformation chimique, réaction chimique.

*An analysis frame of chemical  
knowledge*

*Testing the frame in analysing  
class sessions*

## *Abstract*

*A frame to analyse knowledge on chemical systems changes in secondary school is set out which distinguishes reality-as-perceived, reality-as-idealised and model level. The frame is tested to analyse students' reasoning in two labwork sessions (grade 12). The results highlight the explanatory or predictive role of models and that the students omit some links between knowledge levels.*

## *Key-words*

*Chemistry education, model, reality, chemical change, chemical reaction.*

## INTRODUCTION

Cette communication présente un cadre didactique d'analyse des savoirs de chimie dans l'enseignement secondaire prenant en compte une de leurs caractéristiques essentielles, la relation entre réalité et modèles scientifiques scolaires, objet de difficultés pour les élèves (par ex. Cooper *et al.*, 2012 ; Tiberghien et Vince, 2005). Ce cadre est ensuite utilisé dans deux études de cas pour caractériser les connaissances mises en jeu par des élèves au cours d'une séance de travaux pratiques.

## ANALYSE EPISTEMOLOGIQUE DU SAVOIR

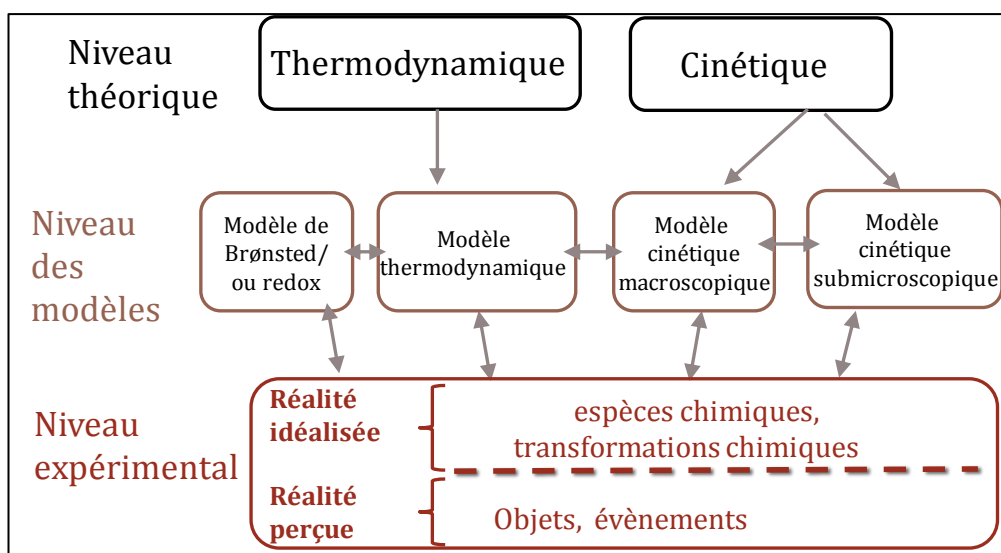
Un modèle scientifique scolaire résulte d'une transposition d'un modèle scientifique (Adúriz-Bravo, 2013) qui peut être défini comme un réseau de concepts en relation les uns avec les autres (Johsua, 1994), construit pour répondre à certaines questions portant sur une part délimitée de la réalité. Les modèles scientifiques (et les modèles scientifiques scolaires) sont considérés comme un niveau de savoirs intermédiaire entre, et en relation avec, les théories et le niveau expérimental (Tiberghien *et al.*, 1994). Ce positionnement épistémologique a orienté une analyse du programme de chimie de terminale en France, qui portait sur l'évolution des systèmes chimiques et abordait le thème des transformations chimiques et des états d'équilibre chimique. L'analyse conduit à distinguer trois modèles scientifiques scolaires issus de deux domaines théoriques et permettant de décrire, expliquer ou prévoir des transformations chimiques (Kermen & Méheut, 2009, 2011). Le niveau expérimental est séparé en deux sous-niveaux, la réalité perçue et la réalité idéalisée (Gilbert *et al.*, 2000).

La réalité perçue correspond au monde des objets et des événements (Tiberghien, 1994) et fait appel à des concepts partagés par tous tandis que la réalité idéalisée inclut des objets-modèles (Gilbert *et al.*, 2000) qui dérivent d'objets réels par idéalisation (Fernández-González, 2013). Les espèces chimiques sont typiquement les objets-modèles de la réalité idéalisée sur lesquels se base une description chimique de l'évolution d'un système fermé. Cette description recense les espèces chimiques présentes dans les états initial et final du système, ce qui constitue la caractérisation d'une transformation chimique si ces espèces sont différentes ou en quantités différentes.

Le modèle thermodynamique comporte une paire de réactions chimiques inverses qui modélisent une famille de transformations chimiques (Kermen, 2015), et le critère d'évolution. Le modèle cinétique macroscopique est composé de la paire de réactions chimiques inverses et de leurs vitesses. Le modèle cinétique submicroscopique est constitué d'entités en mouvement continu et qui sont modifiées au cours de chocs particuliers dits efficaces.

Si les transformations chimiques étudiées mettent en jeu des acides et des bases alors il faut adjoindre un modèle spécifique, le modèle de Brønsted, pour expliquer et prévoir les interactions entre espèces. De même s'ajoute un modèle redox si les transformations chimiques engagent des oxydants et des réducteurs. Le modèle thermodynamique est plus général et permet de prévoir le sens de l'évolution du système en référence à une équation de réaction, à condition qu'elle soit connue, ce que le modèle de Brønsted et le modèle redox permettent. Ces différents domaines de savoirs et leurs liens sont rassemblés sur la figure 1

Figure 1 : Articulation des différents domaines de savoir



*Légende : Dans le niveau des modèles, selon le type de transformation chimique étudiée, aux trois modèles non spécifiques, on adjoint soit le modèle de Brønsted, soit le modèle redox.*

## PROBLEMATIQUE

Le cadre qui vient d'être brièvement présenté a été utilisé pour catégoriser des réponses d'élèves à des questionnaires portant sur la mobilisation à bon escient des différents modèles (Kermen et Méheut, 2009, 2011) et qui interrogeaient le lien entre niveau des modèles et réalité idéalisée. Nous proposons maintenant de le mettre à l'épreuve pour analyser et caractériser les raisonnements d'élèves lors de séances de classe incluant une situation expérimentale. Nous cherchons à déterminer quelles in-

formations sur les raisonnements d'élèves et les différentes connaissances en jeu dans la classe l'utilisation de ce cadre procure. Il s'agit de catégoriser les différents niveaux de savoir auxquels s'effectuent les interventions des élèves, et de l'enseignant pour permettre de situer les raisonnements des élèves, et d'explorer notamment si des liens sont faits entre réalité perçue (RP) et réalité idéalisée (RI), ou entre réalité perçue (RP) ou idéalisée (RI) et modèles (M).

## METHODOLOGIE

Plusieurs séances de travaux pratiques ordinaires dans différentes classes de terminale ont été filmées pour étudier les pratiques des enseignants. Elles ont été entièrement transcrites dans le cadre d'une autre étude. Des épisodes incluant des interactions entre élèves et l'enseignant ont été sélectionnés. Deux épisodes ont été retenus car ils montraient des difficultés d'élèves ou une mécompréhension dans la mise en lien de deux niveaux. Les propos des élèves et ceux de l'enseignant lorsqu'il est nécessaire de le faire, ont été catégorisés en déterminant à quel niveau de savoir, les mots et groupes de mots pertinents (ou les phrases) appartiennent et quels liens sont alors effectués.

Voyons sur l'exemple de la phrase suivante comment l'analyse a été effectuée : « ces mélanges ils ont quelque chose d'un petit peu différent de ce qu'on a l'habitude de faire c'est-à-dire qu'ils vont contenir finalement les quatre espèces dont on est en train de parler ». Le terme « mélanges » réfère à la réalité perçue, car l'enseignante désigne à ce moment-là les mélanges de liquides que les élèves vont devoir faire alors que celui d'« espèces » appartient à la réalité idéalisée incarnée de plus par les formules chimiques écrites au tableau par l'enseignante.

## RESULTATS

Dans le premier extrait, l'enseignante (F) a demandé d'écrire une équation de réaction pour prévoir ce qui pourrait se passer dans les mélanges que les élèves vont préparer à partir de quatre solutions contenant chacune un acide ou une base à la même concentration (au total ce sont deux acides et leurs bases conjuguées). La tâche repose sur la mise en relation des espèces désignées (RI) et du modèle de Brønsted pour proposer une interaction entre l'un des deux acides et la base conjuguée de l'autre. F s'arrête à la table d'un binôme où Chloé a écrit  $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})} + \text{HCOO}^-_{(\text{aq})} + \text{CH}_3\text{COO}^-_{(\text{aq})} + \text{HCOOH}_{(\text{aq})} =$  et sa voisine Lucile une simple flèche dans l'équation. F interroge Chloé sur la signification de cette écriture (M) et Chloé répond qu'elle a agi ainsi car toutes les espèces sont mélangées (RI). F engage alors une discussion avec Lucile, durant laquelle F fait appel au modèle cinétique submicroscopique si bien que Lucile

convient que les espèces écrites à droite de la flèche continuent à réagir et change la flèche dans l'équation par un signe égal, symbole de deux réactions inverses en cours. À la fin, Chloé interroge « ben je ne comprends pas, si on mélange toutes les espèces ensemble elles sont toutes en réactifs ? ».

Dans le second extrait, les élèves ont réalisé deux expériences successives. Après mélange d'une solution de sulfate de cuivre (II) avec de la poudre de zinc, ils ont attendu puis filtré, et ajouté une solution d'hydroxyde de sodium goutte à goutte au filtrat. La tâche consiste à observer les changements visibles (RP) pour faire une description chimique (RI) afin de déterminer quelle transformation chimique s'est produite dans la première expérience. La seconde a pour fonction de caractériser l'une des espèces formées dans la première (les ions zinc). Il s'agit ensuite d'écrire une équation de réaction (M). Lors d'un dialogue collectif, l'enseignante (S) fait préciser les observations par les élèves pour parvenir à caractériser la transformation chimique et écrire l'équation de réaction qui la modélise. Les élèves échouent à identifier l'espèce chimique objet de la seconde expérience ce qui conduit S à invoquer un principe théorique de chimie, la conservation des éléments chimiques. Une fois la transformation chimique décrite (RI) et l'équation de réaction écrite au tableau  $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})} + \text{Zn}_{(\text{s})} = \text{Cu}_{(\text{s})} + \text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})}$  (M), S demande la nature de cette dernière, certains élèves répondent à tort qu'il s'agit d'une réaction de précipitation. Leur réponse montre qu'ils s'appuient sur ce qu'ils ont vu (RP) à la fin (correspondant à la deuxième expérience) et non pas sur le modèle redox pour interpréter l'équation de réaction écrite au tableau afin d'interpréter la première expérience.

## DISCUSSION

Dans le premier cas, le modèle de Brønsted est opératoire pour Lucile, qui propose une équation de réaction ayant un sens chimique, mais pas pour Chloé. Elle a agi comme si les espèces initialement présentes avaient une fonction de réactifs. Le côté gauche de l'équation de réaction semble alors représenter l'état initial du système (Gauchon et Méheut, 2007), ce qui dénote une forme de confusion entre les deux niveaux RI et M. Cette confusion peut être accentuée par l'usage des notations symboliques des espèces chimiques dans les deux niveaux, et par le fait que B n'a pas noté les espèces non réactives (notamment cationiques) au tableau (RI). Du coup, elle ne se demande pas comment faire pour déterminer quelle espèce peut réagir avec telle autre, donc comment utiliser le modèle de Brønsted. Pour elle, la description dans la réalité idéalisée prévaut sur l'usage du modèle. L'usage du modèle cinétique a aidé Lucile à corriger son équation et *in fine* a permis à Chloé d'amorcer un changement puisque son interrogation, à la fin de l'épisode, révèle une prise de conscience de son erreur.

Dans le second extrait, les élèves n'ont pas réussi à faire une description chimique de la première expérience, donc à passer avec succès de la réalité perçue à la réalité idéalisée, faute d'une connaissance expérimentale (RP) spécifique sur l'espèce recherchée (RI). Cela stoppe le recensement des espèces dans la réalité idéalisée donc la description chimique correspondant à la première transformation chimique (RI). Le changement de stratégie de l'enseignante qui fait appel à un principe théorique lui permet de contourner cette difficulté. Certains élèves échouent à identifier la nature des réactions en jeu dans la première expérience car ils n'ont pas saisi qu'il y avait deux transformations chimiques successives. Ils se rappellent le précipité qu'ils ont vu (RP) sans réaliser qu'il correspond à la deuxième expérience, dont aucune description chimique n'a été demandée, ni fournie ce qui montre qu'ils n'ont pas pu conduire ce raisonnement seuls. Alors que l'enseignante désigne l'équation de réaction au tableau, cette réponse montre aussi qu'ils ne sont pas conscients qu'ils doivent faire appel au modèle redox, et qu'il ne s'agit pas de faire un lien entre RI ou RP et modèles.

## CONCLUSION

Le cadre d'analyse proposé permet de caractériser certains liens manquant entre différents niveaux de savoir et de souligner l'importance de l'usage du modèle cinétique qui donne du sens aux représentations symboliques. Les espèces chimiques en tant qu'objets-modèles ne permettent pas de prévision, seule leur inclusion dans un modèle (celui de Brønsted) qui constitue une articulation de concepts, l'autorise. Le recours au principe de conservation des éléments chimiques met en lumière que toute modélisation (passage de RI à M) s'effectue en faisant intervenir les éléments chimiques initialement présents de même que toutes les descriptions chimiques (passages de RP à RI). Que les élèves respectent cela montre qu'ils sont entrés dans le collectif de pensée des chimistes (Sensevy & Santini, 2006).

Il reste à éprouver ce cadre dans d'autres situations. Il peut être adapté à un niveau scolaire moins élevé pour le collège (Kermen, 2015) ou à d'autres systèmes scolaires francophones où le terme transformation chimique n'est pas défini. En effet, il est possible de distinguer les deux types de descriptions (RP et RI) pour donner lieu ensuite à interprétation dans le cadre du modèle, ou inversement de partir du caractère prédictif du modèle pour ensuite proposer une prévision en termes d'espèces chimiques formées et consommées (RI), et en termes d'événements perceptibles (RP).

## BIBLIOGRAPHIE

- Adúriz-Bravo, A. (2013). A 'Semantic' View of Scientific Models for Science Education. *Science & Education*, 22(7), 1593–1611.
- Cooper, M. M., Underwood, S. M., & Hilley, C. Z. (2012). Development and validation of the implicit information from Lewis structures instrument (IILSI): do students connect structures with properties? *Chemistry Education Research and Practice*, 13(3), 195- 200.
- Fernández-González, M. (2013). Idealization in chemistry: Pure substance and laboratory product. *Science & Education*, 22(7), 1723–1740.
- Gauchon, L., & Méheut, M. (2007). Learning about stoichiometry: from students' pre-conceptions to the concept of limiting reactant. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(4), 362.
- Gilbert, J. K., Pietrocola, M., Zylbersztajn, A., & Franco, C. (2000). Science and Education: Notions of Reality, Theory and Model. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Éd.), *Developing Models in Science Education* (p. 19- 40). Springer Netherlands.
- Johsua, S. (1994). Quelques conditions d'évolution d'un objet d'enseignement en physique : l'exemple des circuits électriques. In G. Arzac, Y. Chevallard, J.-L. Martinand, & A. Tiberghien, *La transposition didactique à l'épreuve* (p. 9- 34). Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Kermen, I. (2015). Modéliser, représenter des transformations chimiques. In T. Evrard & B. Amory, *Les modèles Des incontournables pour enseigner les sciences : apprendre les sciences de 2 ans 1/2 à 18 ans* (p. 193-201). Louvain-la-Neuve : De Boeck.
- Kermen, I., & Méheut, M. (2009). Different models used to interpret chemical changes: analysis of a curriculum and its impact on French students' reasoning. *Chemistry Education Research and Practice*, 10, 24- 34.
- Kermen, I., & Méheut, M. (2011). Grade 12 French Students' use of a Thermodynamic Model for Predicting the Direction of Incomplete Chemical Changes. *International Journal of Science Education*, 33(13), 1745- 1773.
- Sensevy, G., & Santini, J. (2006). Modélisation : une approche épistémologique. *Aster*, 43, 163-188.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, 4(1), 71- 87. Tiberghien, A., Psillos, D., & Koumaras, P. (1994). Physics instruction from epistemological and didactical bases. *Instructional Science*, 22(6), 423- 444.

Tiberghien, A., & 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.