



HAL
open science

Cadre d'analyse du savoir en chimie : mise à l'épreuve sur l'analyse de séances de classe

Isabelle Kermen

► **To cite this version:**

Isabelle Kermen. Cadre d'analyse du savoir en chimie : mise à l'épreuve sur l'analyse de séances de classe. Jean-Marie Boilevin & Alain Jameau. Après les 10e rencontres scientifiques... Actualité des recherches en didactique des sciences et des technologies, Editions de l'ARDIST, pp.267-283, 2021, 978-2-9577091-0-6. hal-03469757

HAL Id: hal-03469757

<https://hal.science/hal-03469757>

Submitted on 7 Dec 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Cadre d'analyse du savoir en chimie : mise à l'épreuve sur l'analyse de séances de classe

Kermen, Isabelle⁽¹⁾

⁽¹⁾Université d'Artois, LDAR, 62300 Lens – France

⁽¹⁾Universités de Paris, Cergy-Pontoise, Paris-Est Créteil, Rouen

Introduction

La chimie est une science expérimentale et à ce titre interprète et prévoit des événements empiriques au moyen de modèles scientifiques. L'enseignement de la chimie met en relation situations empiriques et modèles scientifiques scolaires, ce qui occasionne des difficultés pour les élèves (par ex. Cooper, Underwood & Hilley, 2012). Ce chapitre propose un cadre didactique d'analyse des savoirs de chimie dans l'enseignement secondaire en France, cadre qui est ensuite mis à l'épreuve dans deux études de cas pour caractériser les connaissances mises en jeu par des élèves au cours d'une séance de travaux pratiques.

Analyse épistémologique du savoir

Pourquoi proposer un cadre didactique d'analyse du savoir en chimie ?

L'élaboration de ce cadre a été motivée par une véritable création didactique (Chevallard, 1985), le concept de « transformation chimique » modélisée par une « réaction chimique » considérée comme un modèle macroscopique, dans les programmes 2000-2002 du lycée en France (MEN, 1999). Dans les cadres existants, tel que le triangle de Johnstone (introduit dès 1982) extrêmement populaire et répandu à l'international, les savoirs en chimie sont considérés comme relevant d'un niveau macroscopique (celui du tangible, du perceptible), d'un niveau submicroscopique (les molécules, les atomes, les modèles) et d'un niveau

symbolique regroupant toutes les représentations utilisées en classe de chimie (graphiques, formules, équations, etc.) (Johnstone, 2006). Cependant, aucun modèle macroscopique n'est envisagé comme si la chimie et son enseignement n'en comportaient pas, ce qui a déjà été signalé (Kermen & Méheut, 2009 ; Talanquer, 2011). Dans les cadres français s'appuyant sur une approche spécifique de la modélisation dans l'enseignement de la chimie (Laugier & Dumon, 2003 ; Pekdag & Le Maréchal, 2006), les modèles macroscopiques et le concept de transformation chimique ne sont pas suffisamment pris en compte (pour une discussion argumentée voir Kermen, 2018). Une nouvelle analyse des différents types de savoirs a été menée selon le positionnement épistémologique suivant. 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 du registre empirique. 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 empirique (Tiberghien, 1994). Ce parti pris épistémologique a orienté une analyse du programme de chimie de terminale en France qui portait sur l'évolution des systèmes chimiques et abordait les transformations chimiques et les états d'équilibre chimique.

Analyse épistémologique du contenu « évolution des systèmes chimiques »

L'analyse du programme de chimie du lycée 2000-2002, et plus particulièrement celui de la classe de terminale, conduit à distinguer trois modèles scientifiques scolaires issus de deux domaines théoriques et susceptibles d'interroger une même situation empirique (Kermen & Méheut, 2009, 2011).

Présentation du niveau expérimental

Le niveau empirique 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. Les objets typiques de ce sous-niveau en chimie sont des liquides, des solides, des gaz dont la couleur peut changer, ou qui peuvent disparaître ou apparaître. La valeur affichée sur un pHmètre ou un voltmètre sont d'autres modifications visibles que nous qualifierons aussi d'événements. Un exemple, où figurent des objets et des modifications perceptibles, est

présenté en figure 1a. Une description en termes de solide, de liquide, de couleur, etc. s'effectue dans la réalité perçue.

La réalité idéalisée inclut des objets-modèles (au sens de Bunge, cité par Gilbert et *al.*, 2000) qui dérivent d'objets réels par idéalisation (Fernández-González, 2013), c'est-à-dire par distorsion. 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. L'espèce chimique n'a pas vraiment de réalité expérimentale dans la mesure où tout échantillon de matière n'est jamais totalement pur, elle est le constituant ultra-majoritaire de cet échantillon. Considérer que l'échantillon est fait uniquement de l'espèce chimique en question est une distorsion de l'objet échantillon, qui le réduit à son constituant ultra-majoritaire. Lors de l'évolution d'un système chimique fermé, on recense les espèces chimiques présentes dans les états initial et final du système. Si ces espèces sont différentes ou en quantités différentes, alors on a caractérisé une transformation chimique, qui résulte de la construction d'un bilan qualitatif dans la réalité idéalisée (figure 1b).

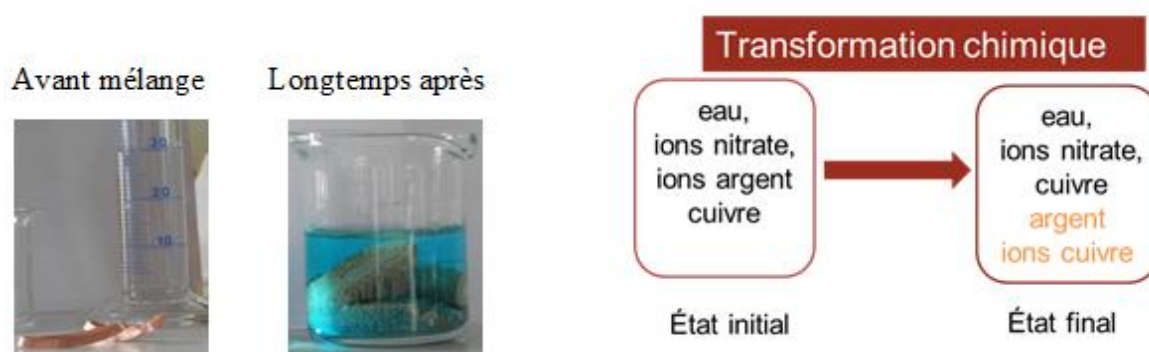


Figure n°1 : À gauche (1a), la réalité perçue ; à droite (1b) schéma d'une transformation chimique dans la réalité idéalisée

Du niveau empirique au niveau des modèles

En faisant varier les quantités respectives des espèces chimiques initiales, on peut réaliser toute une famille de transformations chimiques mettant en jeu les mêmes espèces initiales et correspondant à la formation des mêmes nouvelles espèces dans chaque expérience. On met en évidence le fait que les quantités d'espèces qui réagissent (celles dont la quantité diminue) respectent toujours la même proportion et que celles des espèces qui se forment (dont la quantité augmente) ont aussi une proportion fixe. L'interprétation de ces faits expérimentaux conduit à construire un modèle, une réaction chimique, qui indique quelles sont les espèces réagissant, les espèces formées et dans quelles proportions. La réaction chimique modélise toute une famille de transformations chimiques totales (avec disparition

d'un réactif, le réactif limitant) comportant les mêmes espèces chimiques et est symbolisée par une équation de réaction ($2\text{Ag}_{(\text{aq})}^+ + \text{Cu}_{(\text{s})} \rightarrow \text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+} + 2\text{Ag}_{(\text{s})}$, pour l'exemple de la figure 1).

Pour donner un caractère explicatif à la modification des espèces chimiques, on peut adjoindre un modèle cinétique élémentaire (submicroscopique) dans lequel une espèce chimique est considérée comme un ensemble considérable d'entités identiques en mouvement continu, le terme entité désignant atome, molécule ou ion.

Articulation des trois domaines de savoir

Lorsque les transformations chimiques non totales sont abordées en classe de terminale, le modèle précédent est complexifié et complété. L'analyse du savoir à enseigner conduit à considérer trois modèles scientifiques scolaires (pour plus de détails, voir Kermen, 2018).

Le modèle thermodynamique est le plus général et permet de prévoir et expliquer le sens de l'évolution du système en référence à une équation de réaction, si elle est connue. Il comporte une paire de réactions chimiques inverses qui modélisent une famille de transformations chimiques non totales, et le critère d'évolution. Il s'agit d'une procédure de comparaison du quotient de réaction, fonction descriptive d'un état du système, à la constante d'équilibre, attachée à l'équation de réaction, pour prédire le sens d'évolution du système.

Les modèles cinétiques ont un rôle explicatif mais non prédictif. Le modèle macroscopique est composé de la paire de réactions chimiques inverses et de leurs vitesses qui sont différentes lorsque le système évolue, et égales dans l'état d'équilibre chimique.

Le modèle cinétique submicroscopique est constitué d'entités en mouvement continu, modifiées au cours de chocs particuliers dits efficaces. Au cours des chocs efficaces entre entités, des électrons sont transférés, des liaisons sont formées ou dissociées, de nouvelles entités sont formées. À l'échelle macroscopique cela correspond à la formation de nouvelles espèces chimiques.

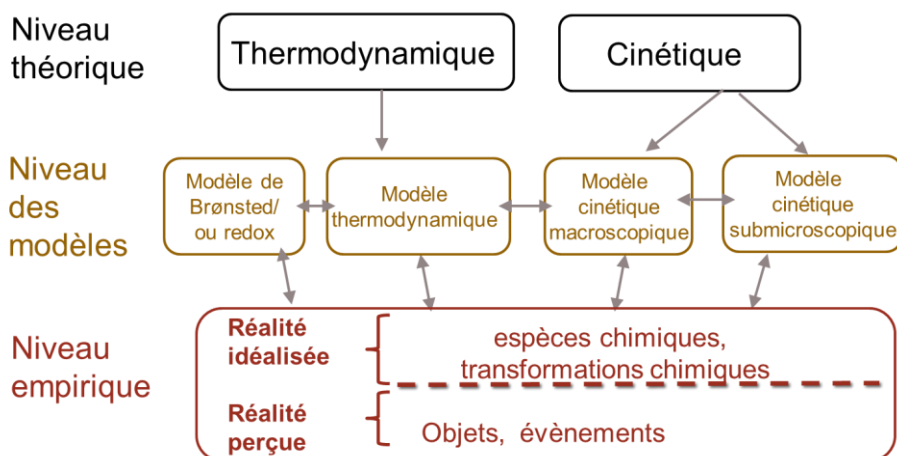


Figure n°2 : Articulation des différents domaines de savoir

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. Ces deux modèles permettent d'écrire les équations de réaction, éléments des modèles macroscopique, thermodynamique et cinétique. Ces différents domaines de savoirs et leurs liens sont rassemblés sur la figure 2. Les formules chimiques ne sont pas réservées aux modèles, car les espèces chimiques sont désignées par leur nom et souvent leur formule dans la réalité idéalisée.

Analyse didactique d'une séance de classe

En classe, les élèves agissent en réponse à des demandes de l'enseignant. L'activité d'un sujet correspond à ce qu'il entreprend pour réaliser une tâche donc atteindre un but fixé dans des conditions données (Leplat & Hoc, 1983). L'activité regroupe les actions du sujet mais aussi ses pensées, ses prises de décision quant au faire ou ne pas faire. L'activité d'un sujet est influencée par la situation et par ses connaissances, ses compétences (Rogalski, 2007). Dans la classe, l'activité de l'enseignant consiste principalement à accompagner les élèves dans la résolution des tâches qu'il a conçues (Robert & Rogalski, 2002). L'activité développée par un élève pour résoudre la tâche dépend de ses connaissances en chimie, cependant seules des traces de cette activité sont perceptibles et l'activité ne peut qu'être inférée.

Problématique

Le cadre d'analyse du savoir 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 et qui interrogeaient le lien entre niveau des modèles et réalité idéalisée (Kermen et Méheut, 2009, 2011). 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. 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). Nous souhaitons déterminer quelles informations sur les raisonnements d'élèves et les connaissances en jeu dans la classe l'utilisation de ce cadre procure et à évaluer sa pertinence.

Méthodologie

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'autres études. 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 de savoir.

Un épisode est associé à une tâche ou un ensemble de sous-tâches que l'élève doit réaliser. Une analyse du raisonnement attendu pour réaliser la tâche est faite en précisant les savoirs en jeu dans la tâche avant de présenter l'analyse de la réalisation, à savoir ce que le chercheur-observateur perçoit et infère de l'activité des élèves ou de l'enseignant. Cela consiste essentiellement en une analyse des échanges verbaux.

Les propos des élèves, et ceux de l'enseignant lorsqu'il est nécessaire de le faire, ont été catégorisés en déterminant à quel domaine de savoir les mots et groupes de mots pertinents (ou les phrases) appartiennent et quels liens sont alors effectués.

Voyons un exemple d'analyse sur la phrase suivante : « 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.

Résultats

Deux études de cas sont présentées, en séance de travaux pratiques en classe de terminale en mars 2011 (cas 1, lycée de petite ville, 15 élèves) et mars 2012 (cas 2, lycée de grande ville, 20 élèves).

Étude de cas 1

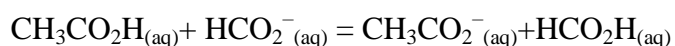
L'extrait proposé débute la séance. Le modèle acidobasique de Brønsted, les transformations non totales acidobasiques ont été introduits plusieurs semaines auparavant.

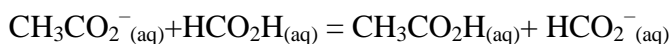
Tâche à réaliser

L'enseignante (F) indique aux élèves qu'ils vont devoir faire deux mélanges à partir de quatre solutions contenues dans quatre fioles disposées au bureau face aux élèves. Chaque solution contient un acide ou une base à la même concentration ; elle a écrit au tableau les formules des deux acides et de leurs bases conjuguées. Elle prévient : « 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 ». Puis elle énonce la tâche : « alors avant de réaliser ce mélange et d'y faire d'obscurmes mesures sans réelles raisons on va réfléchir proposez moi une équation de réaction sur votre papier ».

Raisonnement attendu

Au vu de la réalité perçue (les solutions incolores) et de la réalité idéalisée (les formules chimiques et les noms des espèces), les élèves sont supposés mettre en œuvre le modèle de Brønsted et proposer une interaction entre l'un des deux acides et la base conjuguée de l'autre. Ils doivent écarter la réalité perçue qui n'apporte aucune information, et se concentrer sur les objets de la réalité idéalisée afin de mobiliser le modèle de Brønsted en se rappelant qu'un acide est une espèce susceptible de fournir l'espèce ion hydrogène à une autre espèce capable de la capter, une base. L'équation de réaction traduit alors le transfert de l'espèce ion hydrogène d'un acide d'un couple vers la base d'un autre couple qui conduit à la formation des espèces conjuguées. On attend l'une des équations de réaction suivantes (qui symbolisent deux réactions inverses) :





Description et brève analyse du dialogue enseignante-élèves

L'enseignante F s'arrête à la table d'un binôme Chloé et Lucile.

Équation écrite par Chloé $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})} + \text{HCO}_2^-_{(\text{aq})} + \text{CH}_3\text{CO}_2^-_{(\text{aq})} + \text{HCO}_2\text{H}_{(\text{aq})} =$

Équation écrite par Lucile $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})} + \text{HCO}_2^-_{(\text{aq})} \rightarrow \text{CH}_3\text{CO}_2^-_{(\text{aq})} + \text{HCO}_2\text{H}_{(\text{aq})}$

Voici un extrait de la conversation.

1. F (à Chloé) : hmhm donc on écrit les couples acide-base ça ok (13s) donc là il y a deux acides donc on est tenté (3s) d'écrire que chacun des acides va donner son proton et pis la base elle va réagir et tout ça
2. Chloé : ben oui
3. F : ben oui ça nous fait quatre espèces chimiques à gauche du égal (2s) et puis quoi à droite ?
4. Lucile : (5s) mais pourquoi ils sont tous à gauche ?
5. Chloé : parce qu'on les mélange tous ?

F engage alors une discussion avec Lucile. Elle fait préciser à Lucile que l'écriture d'une flèche dans l'équation signifie qu'il ne se passe plus rien, et que dans le cas des phénomènes acidobasiques cela ne traduit pas la réalité. Puis elle poursuit. Voici un deuxième extrait.

36. F : quand on regarde à l'intérieur à l'intérieur de la fiole de très très près ces espèces-là bougent plus ?(2s)
37. Lucile : ben si
38. F : ben si (3s)
39. Lucile : ben elles sont (3s)
40. F : le fait qu'il y ait un état d'équilibre qu'est-ce que ? à quoi ça correspond ? (3s) ça correspond que là on a mis des espèces, en plus on a mis tout le monde, entre les deux espèces que t'as mises à gauche y a des chocs
41. Lucile : ben oui
42. F : ben oui et ces chocs de temps en temps ils sont ? (4s) efficaces c'est pour ça qu'ils fournissent ?
43. Lucile : (1s) des produits
44. F : des espèces qui sont à droite. Les espèces qui sont à droite elles jouent à 1 2 3 soleil elles attendent ? (2s)
45. Lucile : hé ben non
46. F : ben non

Lucile convient alors 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 de ce dialogue, Chloé interroge « ben je ne comprends pas, si on mélange toutes les espèces ensemble elles sont toutes en réactifs ? ».

Au début de l'extrait (tour de parole 1), l'enseignante décrypte l'équation de Chloé en évoquant le modèle de Brønsted sans déclencher d'autre réaction qu'un acquiescement de Chloé qui ne semble pas pouvoir utiliser ce que vient de lui dire l'enseignante. Puis F et Lucile (tours de parole 3 et 4) s'interrogent sur la signification de cette écriture (M) et Chloé fournit une réponse montrant qu'elle se situe au niveau expérimental (RI) ce qui peut expliquer que les informations précédentes n'aient pas eu d'effet sur sa réflexion. Elle reproduit ce qu'elle a rencontré jusque-là, les espèces présentes initialement ne comportaient pas les futurs produits. Et elle ne sait pas comment poursuivre.

L'usage de l'expression « à l'intérieur de la fiole de très très près » (tour de parole 36) indique que l'enseignante F fait appel à l'échelle submicroscopique malgré le terme « espèce ». Cela est confirmé dans la suite de l'échange où elle invoque des chocs entre espèces (tour 40) et des chocs efficaces (tour 42 et ultérieurement). Elle peut ne pas être pleinement avertie de la signification uniquement macroscopique du mot. L'enseignante utilise des formulations anthropomorphiques, « tout le monde » (tour 40) puis « les espèces jouent à 1,2, 3, soleil ? » (tour 44) pour faire dire à l'élève qu'effectivement toutes les espèces continuent à réagir et qu'il faut donc le signaler par un signe égal dans l'équation.

Étude de cas 2

Cet extrait de séance concerne la mise en commun après que les élèves ont réalisé en autonomie les expériences figurant sur leur fiche.

Tâche à réaliser

Les élèves ont réalisé deux expériences successives. Dans la première expérience, ils ont introduit dans le tube à essai 2 une solution de sulfate de cuivre (II) avec de la poudre de zinc (le tube 1 ne contient que la solution), ils ont attendu puis filtré. Dans la deuxième expérience, ils ont ajouté une solution d'hydroxyde de sodium goutte à goutte au filtrat. Ils devaient noter leurs observations, et identifier la transformation chimique dans le tube 2.

Raisonnement attendu

Les élèves doivent observer les changements visibles (RP) pour faire une description en termes d'espèces chimiques (RI). L'affaiblissement de la couleur de la solution par rapport au tube 1 (RP) permet de déterminer la consommation des ions cuivre (II), il faut trouver les espèces formées (X) et reconnaître le cuivre, (figure 3) puis quelle transformation chimique s'est produite dans la première expérience (figure 3).

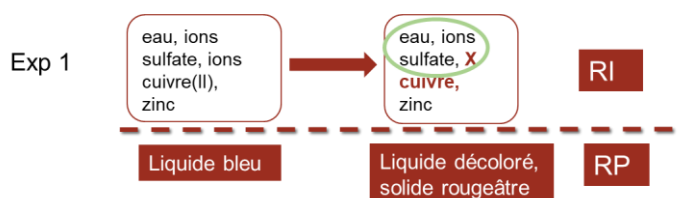


Figure n°3 : Transformation chimique dans la première expérience

La seconde expérience a pour fonction de caractériser l'espèce X (les ions zinc) formée dans la première. Les élèves doivent reconnaître que la formation d'un précipité blanc (espèce Y, figure 4) qui se dissout dans un excès de solution d'hydroxyde de sodium est caractéristique de la présence d'ions zinc en solution (figure 4). Une fois cette caractérisation effectuée, alors ils infèrent la consommation du zinc, qui n'est pas visible.

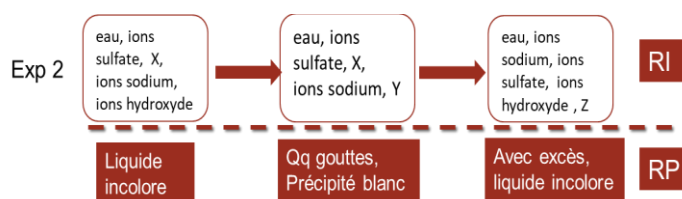


Figure n°4 : Transformations chimiques dans la deuxième expérience

Il y a donc des allers et retours entre RI et RP qui conjuguent observations et identifications d'espèces chimiques. Il s'agit ensuite d'écrire une équation de réaction (M), ce qui ne figurait pas dans la consigne mais est devenue la tâche redéfinie par l'enseignante.

Description et brève analyse du dialogue collectif

Lors du dialogue collectif, l'enseignante S fait préciser les observations par les élèves pour parvenir à identifier les espèces formées et consommées. Les élèves échouent à identifier l'espèce chimique objet de la seconde expérience, ce qui révèle un lien manquant entre RP et RI. L'enseignante fait alors recenser les espèces présentes initialement et écrit au tableau leurs formules Cu^{2+} SO_4^{2-} Zn , cette fois les élèves ont correctement relié perception et RI. Puis elle leur fait énoncer un principe théorique de chimie, la conservation des éléments

chimiques et les amène à dire que l'espèce ionique formée à partir du zinc ne peut être que les ions zinc, dont elle écrit la formule au tableau. Avant de finir le recensement des espèces présentes dans l'état initial (RI), elle fait dire aux élèves que les ions sulfate sont « spectateurs » ce qui est un indice d'une connaissance expérimentale dans la réalité idéalisée et barre la formule au tableau. C'est un écrit intermédiaire qui ne correspond plus tout à fait à une description des deux états du système dans la réalité idéalisée (figure 3). Elle ajoute alors un signe + à côté de la formule des ions zinc pour écrire celle du cuivre et réoriente définitivement l'écrit qui devient celui d'une équation de réaction, au niveau du modèle. Une fois l'équation complétée au tableau selon $\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+} + \text{Zn}_{(\text{s})} = \text{Zn}_{(\text{aq})}^{2+} + \text{Cu}_{(\text{s})}$, S demande la nature de cette dernière (donc reste au niveau du modèle).

S: (...) à quel type de réaction j'ai affaire là ?

Olivier : précipitation

S : Fanny ?

Fanny : précipitation

S : là précipitation ?// précipitation quant à la soude oui mais là j'parle pas de la soude/

Élèves : oxydoréduction.

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) dans la deuxième expérience (figure 4) et non pas sur le modèle redox pour interpréter l'équation de réaction écrite au tableau.

Discussion

Dans le premier cas, le modèle de Brønsted est opératoire pour Lucile, qui propose une équation de réaction ayant une signification chimique, mais pas pour Chloé. Elle a agi comme si toutes 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, ou une difficulté à distinguer deux niveaux de savoir. Cela a pu être accentué par l'usage des notations symboliques des espèces chimiques dans les deux niveaux, et l'absence de notation des espèces cationiques non réactives au tableau (RI). La notation de ces espèces aurait pu constituer un indice du fait qu'il faut sélectionner certaines des espèces présentes pour proposer une réaction, dans la mesure où les élèves connaissent l'absence de réactivité des ions sodium en solution. Dès lors, Chloé 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 (la suite de la séance confirme cela). L'usage incorrect au regard du savoir de référence du terme espèce au lieu d'entité par l'enseignante ne semble pas gêner les élèves, tout comme les formulations anthropomorphiques, ce qui montre bien que c'est la signification qu'ils peuvent en retirer, l'idée d'interaction continue, qui compte. Mais il est aussi possible que le manque d'usage des termes adéquats ne favorise pas la reconnaissance de l'échelle à laquelle les explications sont fournies, en d'autres occasions.

Dans le second cas, 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, la conservation des éléments chimiques, lui permet de contourner cette difficulté. Ce principe sous-tend les niveaux M et RI et permet l'interprétation des événements perçus. La mention du rôle d'espèce « spectatrice » pour les ions sulfate atteste d'une connaissance expérimentale et d'un passage connu entre RI et modèle, s'agissant d'une non-sélection de l'espèce pour figurer dans l'équation de réaction.

Certains élèves échouent à identifier la nature des réactions en jeu dans la première expérience. 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. Identifier une espèce produite lors d'une transformation au moyen d'une (ou plusieurs) autre transformation chimique est une pratique courante en chimie, elle contribue à définir l'identité chimique d'une espèce (Ngai, Sevian & Talanquer, 2014). Les élèves n'ayant pas saisi qu'il y avait des transformations chimiques successives, cela montre qu'ils ne peuvent conduire ce raisonnement seuls et ont besoin d'un guidage. Alors que l'enseignante désigne l'équation de réaction au tableau, la réponse « précipitation » 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 réalité idéalisée ou perçue et le niveau des modèles.

Dans les deux cas, les élèves modélisent la situation expérimentale ou utilisent des modèles respectant la conservation des éléments chimiques et les symboles chimiques. Aucun élève n'a mentionné d'espèce comportant un élément chimique non présent initialement (au contraire de certains élèves de seconde invoquant la présence de carbone au vu d'un solide noir, constitué en fait d'oxyde de cuivre, Laugier & Dumon, 2003) ou utilisé de symbole différent des symboles des formules chimiques. Ces indices incitent à penser qu'ils ont adopté au moins partiellement le style de pensée des chimistes et qu'ainsi ils entrent dans un collectif de pensée en classe (Sensevy & Santini, 2006) fondé sur celui des chimistes et qui permet de voir et d'interpréter la réalité d'une certaine façon.

Conclusion

Le cadre d'analyse proposé permet de caractériser les liens effectués et certains liens manquants 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), 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).

Il reste à éprouver ce cadre dans d'autres situations. Il peut être adapté à un niveau scolaire moins élevé, au collège, en ne considérant que des transformations chimiques totales et un modèle cinétique submicroscopique élémentaire pour construire la dialectique entité-espèce (Kermen, 2018) 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). Enfin il peut être utilisé en formation d'enseignants pour proposer des situations concrètes d'intérêt et d'usage de la distinction réalité-modèle et de la dialectique macroscopique-submicroscopique, qui sont réaffirmées dans les programmes de lycée en vigueur à partir de septembre 2019.

Bibliographie

- Adúriz-Bravo, A. (2013). A 'Semantic' View of Scientific Models for Science Education. *Science & Education*, 22(7), 1593–1611.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- 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' preconceptions 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.
- Johnstone, A. H. (2006). Chemical education research in Glasgow in perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(2), 49-63.
- Johsua, S. (1994). Quelques conditions d'évolution d'un objet d'enseignement en physique : l'exemple des circuits électriques. In G. Arsac, Y. Chevallard, J.-L. Martinand, & A. Tiberghien, *La transposition didactique à l'épreuve* (p. 9-34). Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Kermen, I. (2018). *Enseigner l'évolution des systèmes chimiques au lycée. Savoirs et modèles, raisonnements d'élèves, pratiques enseignantes*. Rennes : Presses Universitaires de Rennes.
- 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.
- Laugier, A., & Dumon, A. (2003). Obstacles épistémologiques et didactiques à la construction du concept d'élément chimique : quelles convergences ? *Didaskalia*, 22, 69-97.
- Leplat, J., & Hoc, J.-M. (1983). Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahiers de psychologie cognitive*, 3(1), 49-63.
- Ministère de l'éducation nationale (1999). *Bulletin Officiel Hors-Série*, n°6, 12 août.
- Ngai, C., Sevia, H., & Talanquer, V. (2014). What is this Substance? What Makes it Different? Mapping Progression in Students' Assumptions about Chemical Identity. *International Journal of Science Education*, 36(14), 2438-2461.
- Pekdag, B., & Le Maréchal, J.-F. (2006). Influence de la nature du texte d'un film de chimie sur son utilisation par un apprenant. *Didaskalia*, 28, 55-84.
- Rogalski, J. (2007). *Approche de psychologie ergonomique de l'activité de l'enseignant*. 1-21. Accédé le 22/11/2019 http://www.ciep.fr/sources/conferences/CD_professionnalisation/bak/pages/docs/pdf_interv/Rogalski_Janine.pdf

- Robert, A., & Rogalski, J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques : Une double approche. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 2(4), 505-528.
- Sensevy, G., & Santini, J. (2006). Modélisation : une approche épistémologique. *Aster*, 43, 163-188.
- Talanquer, V. (2011). Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry “triplet”. *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, 4(1), 71-87.