



HAL
open science

Exploration des connaissances professionnelles locales d'enseignants à propos de l'évolution des systèmes chimiques

Isabelle Kermen

► **To cite this version:**

Isabelle Kermen. Exploration des connaissances professionnelles locales d'enseignants à propos de l'évolution des systèmes chimiques. 5emes rencontres de l'ARDIST, Oct 2007, Montpellier, France. hal-02883042

HAL Id: hal-02883042

<https://hal.science/hal-02883042>

Submitted on 28 Jun 2020

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.

Exploration des connaissances professionnelles locales d'enseignants à propos de l'évolution des systèmes chimiques

Isabelle KERMEN, Laboratoire de Didactique des Sciences Physiques, Université Paris Diderot- Paris 7, Paris, France

Résumé.

Un programme portant sur l'évolution des systèmes chimiques a été introduit en classe de terminale S en septembre 2002. Une analyse épistémologique de contenu et une analyse des effets de cet enseignement sur les connaissances et raisonnements des élèves ont été effectuées afin de fonder une exploration des connaissances professionnelles locales ou connaissance du contenu pédagogique (PCK) que les enseignants ont développées en enseignant ce programme. Cette communication porte sur la conscience que les enseignants ont des difficultés d'apprentissage et des erreurs des élèves. Nous avons conduit des entretiens semi-directifs comprenant la présentation de réponses d'élèves. Les enseignants sont conscients de plusieurs difficultés ou erreurs des élèves, mais ils ne sont pas nombreux à mettre l'accent sur les difficultés que les élèves peuvent avoir à revoir leurs conceptions sur les transformations chimiques pour comprendre le concept d'équilibre chimique. La présentation de réponses d'élèves permet aux enseignants de développer leurs connaissances professionnelles en leur faisant prendre conscience d'erreurs qu'ils ne connaissaient pas et révèle que certains enseignants éprouvent des difficultés eux-mêmes. Ces difficultés concernent plus particulièrement l'utilisation des modèles introduits par ce programme.

Mots clés : évolution des systèmes chimiques, enseignants, difficultés d'apprentissage, connaissances professionnelles.

Abstract.

A curriculum on the evolution of chemical systems was implemented in the final year of Higher Secondary Education in France in September 2002. An epistemological analysis of the content of the curriculum and an analysis of the effects of teaching on students' conceptual development were made, in order to investigate the pedagogical content knowledge PCK teachers have developed when teaching this curriculum. In this communication we focus on the students' learning difficulties and errors teachers are aware of or are not. We carried out semi-structured interviews including the presentation of authentic students' responses. Teachers are aware of several students' learning difficulties or errors they make, but they are not numerous to stress the difficulties students may have to revise their conceptions on chemical change to understand the chemical equilibrium concept. The presentation of students' responses (a) helps a teacher to develop his PCK in finding out that some students make errors that he was not aware of (b) reveals that some teachers have difficulties themselves. These difficulties concern more particularly the understanding of subjects involved in the models introduced by this curriculum.

Keywords: chemical system evolution, teachers, learning difficulties, pedagogical content knowledge

Exploration des connaissances professionnelles locales d'enseignants à propos de l'évolution des systèmes chimiques

Isabelle KERMEN, Laboratoire de Didactique des Sciences Physiques, Université Paris 7 – Paris Diderot, Paris, France

Contexte

A l'occasion du dernier changement des programmes de lycée d'enseignement général qui est entré en application en septembre 2000 en classe de seconde, en 2001 en première, en septembre 2002 en terminale, le programme de chimie de ces classes a été modifié. Ce nouveau programme met l'accent dès la classe de seconde sur l'évolution des systèmes chimiques par la prise en compte explicite de différents états par lesquels passe un système lors d'une transformation. Le programme de la classe de terminale S introduit une procédure systématique permettant de prévoir ou d'expliquer le sens d'évolution des systèmes, le critère d'évolution (comparaison du quotient de réaction du système à la constante d'équilibre). Cette approche thermodynamique est couplée à une approche cinétique pour expliquer le caractère dynamique des états d'équilibre chimique. Cela constitue pour les élèves comme pour les enseignants une nouvelle façon d'aborder les transformations chimiques.

Les auteurs du programme de chimie ont explicité leurs intentions ; il s'agit de proposer une nouvelle approche de l'évolution des systèmes chimiques (Davous et al. 2003). L'introduction du quotient de réaction permet de proposer un critère d'évolution au « *caractère très général* » (Davous et al., 2002). Ils insistent sur la différence à faire entre faits expérimentaux et modèles, préoccupation déjà exprimée par les auteurs du programme précédent (Goffard, 1994), ce qui se manifeste par « *l'importance accordée à la notion de modèle, en particulier par le double regard macroscopique microscopique* » (Davous et al. 2003) et font référence à des activités qui doivent développer ce double regard chez les élèves. Dès la classe de seconde, deux termes transformation chimique et réaction chimique recouvrant deux notions ont été introduits pour insister sur cette différence. Les auteurs du programme ont précisé qu'ils entendaient faire « *une distinction entre la transformation chimique, menant un système d'un état à un autre, et la réaction chimique, responsable de cette transformation chimique, et qui est un modèle à l'échelle macroscopique des événements se produisant à l'échelle microscopique* » (Davous et al., 1999).

Notre recherche étudie les effets de la mise en place du programme de chimie de terminale S sur les connaissances et raisonnements des élèves et sur les connaissances professionnelles des enseignants à propos d'un aspect de ce programme, l'évolution des systèmes chimiques.

Dans cette communication nous présentons une partie de notre étude sur les connaissances professionnelles des enseignants. Celle-ci explore certaines composantes du savoir professionnel que les enseignants ont pu développer à travers l'enseignement de ce programme. Que savent-ils des difficultés d'apprentissage des élèves ? Comment réagissent-ils face à des réponses d'élèves révélant certaines difficultés ?

Cadre théorique

Certains travaux didactiques cherchent à caractériser et développer le savoir professionnel des enseignants en relation avec l'enseignement d'un sujet donné. Il peut s'agir d'acquérir des connaissances professionnelles locales (Morge, 2003) ou une connaissance du contenu pédagogique (De Jong, 1998). De Jong fait référence à un courant de recherche s'appuyant sur la notion de PCK (pedagogical content knowledge) introduite par Shulman (1987) pour caractériser les divers domaines de connaissances nécessaires aux enseignants afin d'exercer leur activité professionnelle. Selon Shulman (1999), l'étude des interactions entre le contenu disciplinaire et la pédagogie constituait le paradigme manquant des recherches sur l'enseignement. Depuis cette notion a fait l'objet de nombreuses recherches (Baxter et Lederman, 1999). Cette PCK résulte de la transformation d'au moins

deux domaines de connaissances : les connaissances pédagogiques générales et les connaissances disciplinaires (Gess-Newsome, 1999) et constitue un domaine distinct, nouveau (Magnusson, Krajcik et Borko, 1999). Le domaine de connaissances désigné par PCK est lui-même constitué de plusieurs types de connaissances sur les finalités et les buts de l'enseignement des sciences, sur les programmes, sur les difficultés d'apprentissage et les conceptions des élèves à propos d'un sujet précis, sur les méthodes d'évaluation et sur les stratégies d'enseignement des sciences (Magnusson, Krajcik et Borko, 1999). Certains auteurs (Geddis, 1993 ; De Jong, 1998 ; Bond-Robinson, 2005) insistent sur le rôle de cette PCK, transformer un contenu donné en quelque chose qui puisse être enseigné et qui soit accessible aux capacités cognitives des élèves ou des étudiants. De bonnes connaissances disciplinaires ne suffisent pas à développer une connaissance du contenu pédagogique d'un sujet donné, certains enseignants se révèlent incapables d'aider leurs élèves à acquérir des connaissances qu'ils possèdent eux-mêmes (Magnusson, Krajcik et Borko, 1999). Son développement s'effectue au travers d'un processus intégré enraciné dans la pratique (Van Driel, Verloop et De Vos, 1998 ; De Jong, 2003), ce qui explique que les enseignants débutants ou traitant d'un sujet donné pour la première fois en soient dépourvus.

Questions de recherche

Notre étude comporte trois parties. Dans la première, une analyse épistémologique du contenu du programme permet de mettre en lumière les différents modèles sous-jacents et leurs relations avec le registre empirique (Kermen, 2005a). La deuxième partie concerne plus directement les effets de ce programme sur les connaissances et raisonnements des élèves. Nous avons cherché à travers différents questionnaires à déterminer comment les élèves prévoient ou expliquent l'évolution d'un système chimique, quelle utilisation ils font du modèle thermodynamique et des modèles cinétiques (Kermen et Méheut, 2004 ; Kermen, 2005b). La troisième partie s'intéresse aux enseignants et à certains aspects de leur PCK ou connaissances pédagogiques liées au contenu (Méheut, 2006) qu'ils ont pu développer en enseignant ce programme. Plus précisément nous déterminons si les thèmes que notre analyse de contenu conduit à considérer comme les principaux enjeux du programme sont ressentis comme tels par les enseignants et s'ils ont conscience des difficultés d'apprentissage que les élèves peuvent rencontrer.

Dans cette communication nous nous restreignons aux difficultés des élèves que les enseignants perçoivent ou non. Nos questions de recherche sont alors :

Les enseignants ont-ils conscience des difficultés d'apprentissage des élèves à propos de l'évolution des systèmes chimiques ?

Quel peut être l'impact sur des enseignants d'une présentation de réponses d'élèves révélant des difficultés ?

Méthodologie

Nous avons mené des entretiens semi directifs ou focalisés (Bardin, 1993) auprès d'enseignants de lycée. Que des chercheurs tentent d'évaluer l'impact d'intentions didactiques (Viennot et al., 2005), de faire acquérir à des enseignants des connaissances professionnelles locales (Morge, 2003) ou des connaissances pédagogiques liées au contenu PCK (Van Driel et al., 1998), ils proposent tous de mettre les enseignants en situation de commenter des réponses authentiques d'élèves, ce que nous avons fait pour déterminer quelles erreurs d'élèves les enseignants reconnaissent.

Les entretiens réalisés comportent deux parties. La première commence par des questions ouvertes relatives aux enjeux du programme et aux difficultés d'apprentissage des élèves, puis focalise sur les enjeux précisés précédemment. Les élèves ont-ils des difficultés à comprendre la différence entre transformation et réaction chimiques, à expliquer pourquoi une transformation chimique s'arrête, à écrire le quotient de réaction ? Dans la seconde partie des réponses d'élèves issues de nos enquêtes par questionnaires et comportant des erreurs révélatrices de difficultés spécifiques sont présentées au enseignant. Chaque réponse proposée comporte au moins une erreur associée à une difficulté spécifique.

Nous avons interrogé 15 professeurs de sciences physiques enseignant en classe de terminale dans différents lycées de plusieurs académies. Tous étaient titulaires depuis 5 ans au moins.

Les entretiens ont été transcrits dans leur intégralité. Ils constituent un corpus qui a été découpé en unités de signification (Bardin, 1993) qui sont soit des phrases, soit des extraits de phrase.

Les deux premières parties de notre étude nous ont permis de repérer certaines difficultés d'apprentissage des élèves à propos de l'évolution des systèmes chimiques. Nous avons recherché dans le corpus les unités de signification qui correspondaient à ces difficultés ou aux erreurs liées à ces difficultés.

Résultats et discussion

À partir de nos analyses préalables nous avons établi une liste de difficultés éprouvées par les élèves et des erreurs associées qu'ils sont susceptibles de commettre. Elles figurent dans le tableau ci-dessous, ainsi que le nombre d'enseignants (N=15) les ayant citées au cours des entretiens ou bien ayant identifié une erreur donnée dans l'une des réponses d'élèves proposées.

Difficultés à		citées	Erreurs associées		citées	identifiées
Comprendre la distinction entre transformation totale et non totale	D1	6	L'avancement final est toujours égal à l'avancement maximal	E1	1	
Concevoir une transformation dans le sens inverse de l'équation chimique	D2	5	Le sens d'évolution est toujours le sens direct	E2	3	1
Exprimer le quotient de réaction	D3	1	Omettre la concentration d'un soluté absent dans l'expression du quotient	E3	0	13
			Introduire la concentration d'un solide ou du solvant dans l'expression du quotient	E4	8	
Expliquer pourquoi une transformation non totale s'arrête	D4	11	Ne pas calculer le quotient de réaction pour prouver l'état d'équilibre du système	E5	0	11
Concevoir la simultanéité des réactions inverses	D5	1	Les réactions inverses sont successives	E6	0	10
Comprendre la distinction entre transformation et réaction	D6	11	Utiliser un mot pour l'autre (transformation et réaction)	E7	3	6
			Nier l'arrêt de la transformation	E8	0	5
Situer le concept de réaction chimique au plan macroscopique	D7	0	La réaction chimique est un concept microscopique	E9	0	0
Concevoir la présence de « produits » dans l'état initial	D8	9	Écrire une concentration nulle pour des « produits » présents dans l'état initial	E10	3	

Tableau 1 : Reconnaissance des difficultés et erreurs par les enseignants.

A propos des difficultés des élèves citées par les enseignants

Nous nous intéressons dans un premier temps aux difficultés et erreurs que les enseignants citent.

Deux difficultés « concevoir la simultanéité des réactions inverses » et « situer le concept de réaction chimique au plan macroscopique » (D5, D7) ne sont pas citées (ou quasiment pas) par les enseignants, de même que les erreurs associées (E6, E9).

Deux autres difficultés « comprendre la distinction entre transformation totale et non totale » et « concevoir une transformation dans le sens inverse de l'équation chimique » (D1, D2) sont évoquées

de façon spontanée par moins de la moitié des enseignants interrogés ainsi que les erreurs associées (E1, E2).

Les quatre dernières difficultés ou erreurs associées sont mentionnées par les enseignants en réponse à une question qui attire leur attention sur cet aspect (E4, D4, D6, D8). Plus de la moitié des enseignants interrogés estime qu'il arrive à certains élèves « d'introduire la concentration d'un solide ou du solvant dans l'expression du quotient de réaction », d'éprouver des difficultés à « expliquer pourquoi une transformation chimique s'arrête », « à comprendre la distinction entre transformation et réaction chimiques » et « à concevoir qu'il puisse y avoir des produits dans l'état initial ».

Remarquons que les enseignants ont été assez nombreux (9) à nous signaler cette dernière difficulté (D8), qui se traduit par une tendance à écrire que les concentrations des produits sont nulles dans l'état initial (E10) ont précisé certains (3). Or nous n'avons absolument pas relevé cette erreur dans les réponses à nos questionnaires. Cela signifie que les enseignants l'ont détectée et ont su trouver les arguments pertinents. Un enseignant rapporte qu'il a dit à ses élèves « *on a bien vu qu'il suffit de mettre les deux solutions au départ donc y avait pas de problème* », une autre expose son argument sur le mode humoristique « *Moi ça m'amuse quand ils me disent, madame, vous avez pas le droit de mélanger. Ah bon si je prends le flacon ça me saute à la figure ?* ». Tous deux ont eu recours au même argument réaliste consistant à revenir à la réalisation pratique. Cela explique alors que les élèves aient surmonté cette difficulté et ne commettent plus l'erreur.

De l'examen des difficultés ou erreurs que les enseignants mentionnent il ressort que les enseignants sont conscients de certaines difficultés ou erreurs des élèves mais que certaines autres leur semblent inconnues.

A propos de l'impact de la présentation de réponses d'élèves

Dans la dernière colonne du tableau 1 figure le nombre d'enseignants ayant identifié chacune des erreurs contenues dans les réponses d'élèves qui leur étaient présentées. Si nous mettons en rapport l'identification d'une erreur figurant dans une réponse d'élève ou son absence avec la mention ou non d'une difficulté sur le sujet, quatre possibilités peuvent être dégagées, elles sont résumées dans le tableau 2 (en annexe figure le détail par enseignant).

type	dans le discours	devant une réponse d'élève	exemples
A	difficulté ou erreur associée mentionnée	erreur identifiée	D4-E5
B	difficulté ou erreur associée mentionnée	erreur non (ou peu) identifiée	D2-E2, D6-E7, D6-E8
C	difficulté et erreur associée non mentionnées	erreur identifiée	D3-E3, D5-E6
D	difficulté et erreur associée non mentionnées	erreur non identifiée	D7-E9

Tableau 2 : Différentes possibilités concernant la reconnaissance de difficultés et erreurs

Type A

Les enseignants disent que les élèves rencontrent des difficultés sur un sujet précis et sont nombreux à identifier une erreur liée à cette difficulté (D4-E5). En réponse à une question, la plupart des enseignants (11) disent que les élèves ont du mal à expliquer pourquoi une transformation non totale s'arrête (D4) et ils sont tout aussi nombreux à s'étonner que dans une réponse d'élève il ne soit pas fait mention du calcul du quotient de réaction dans l'état final pour montrer que le système est en état d'équilibre chimique (E5) alors que toutes les données nécessaires figuraient dans l'énoncé.

Type B

Les enseignants déclarent que les élèves rencontrent des difficultés sur un sujet précis mais n'identifient pas une erreur liée à cette difficulté ou sont peu nombreux à le faire (D2-E2, D6-E7, D6-E8). Certains enseignants ont mentionné spontanément la difficulté de certains élèves à concevoir une transformation dans le sens inverse de l'équation chimique (D2) et l'erreur associée consistant à considérer que l'évolution d'un système a toujours lieu dans le sens direct (E2) cependant un seul

enseignant reconnaît cette erreur dans une des réponses d'élève (qui en comportait d'autres). Après avoir été questionnés, la plupart des enseignants (11) déclarent que les élèves ont des difficultés à comprendre la distinction entre transformation chimique et réaction chimique (D6) mais moins de la moitié d'entre eux reconnaît dans deux des réponses qui leur sont présentées des erreurs liées à cette difficulté : l'utilisation du terme transformation au lieu de réaction dans l'une (E7) et la négation de l'arrêt de la transformation à l'équilibre (arrêt explicite dans l'énoncé de la question soumise aux élèves) dans l'autre (E8).

À l'occasion de l'examen de la réponse où l'élève emploie le terme transformation au lieu de réaction, un enseignant exprime un doute sur la façon dont la réponse est formulée et déclare qu'il va essayer de la corriger. Il reprend le terme transformation comme l'élève.

- **vous diriez transformation ?**
- je dirais transformation
- **parce que tout à l'heure vous m'avez dit transformation c'est passage d'un état du système à un autre**
- oui
- **or là c'est le même état**
- oui c'est le même état voyez j'aurais dit transformation aussi, (rire) comme quoi même moi j'amalgame le vocabulaire, ça c'est sûr. C'est pas évident.

Dire que le système est dans le même état, permet à l'enseignant de prendre conscience que l'emploi qu'il fait du terme transformation va à l'encontre de la définition qu'il en a donné. Malgré la reconnaissance de l'erreur de l'élève, cet enseignant éprouve une difficulté à utiliser à bon escient ce terme qu'il a pourtant défini au préalable durant l'entretien.

Un autre enseignant revient spontanément à la fin de l'entretien sur la difficulté qu'il a eu à commenter les réponses d'élèves qui parlaient de réaction et de transformation.

Moi ce que je retiens de tout ça, c'est la difficulté pour moi dans les réponses d'élèves de faire la distinction entre transformation et réaction. Très honnêtement s'il me fallait noter des réponses d'élèves et puis dire non là c'est faux l'élève aurait dû répondre, aurait dû écrire réaction et là transformation, c'est ce qui m'a le plus gêné dans les réponses que j'ai eu à donner (..) Dans mon enseignement (...) j'ai pas ce soin de faire à l'oral la distinction entre transformation et réaction. Je crois que je vais me poser le problème de manière plus aigüe maintenant.

Notons que cet enseignant n'a identifié qu'une seule des deux erreurs associées à cette difficulté, qu'il a déclaré que la confusion entre les deux notions n'empêche pas les élèves de comprendre les explications. À une question portant sur les difficultés qu'éprouveraient les élèves à expliquer pourquoi une transformation s'arrête, il répond en utilisant l'expression « *la réaction s'arrête* » comme synonyme de l'expression « *la transformation s'arrête* ». Cette déclaration montre donc une prise de conscience par cet enseignant de l'importance pour lui à faire la distinction entre les deux notions. Il manifeste l'intention d'accorder plus d'attention à cet aspect dorénavant.

Ajoutons qu'au cours des entretiens plusieurs enseignants (6) déclarent ne pas bien comprendre la différence entre transformation et réaction et un assez grand nombre (10) dit confondre parfois les deux termes dans le discours. Ces différents éléments nous permettent de considérer que la distinction entre la transformation chimique (description de la réalité empirique) et les réactions chimiques qui la représentent, entre le registre empirique et le registre des modèles n'est pas bien comprise.

Type C

Concernant certains sujets qui peuvent donner lieu à difficulté ou erreur les enseignants ne disent pas que les élèves éprouvent des difficultés ou commettent des erreurs mais ils sont nombreux à identifier une erreur dans une réponse d'élève (D3-E3, D5-E6). Alors qu'un seul enseignant a parlé de difficulté à exprimer le quotient de réaction (D3), qu'aucun n'a évoqué l'erreur consistant à omettre la concentration du soluté absent dans l'expression du quotient de réaction (E3), la presque totalité (13) d'entre eux identifie cette erreur dans une réponse d'élève. De même alors qu'aucun enseignant n'a mentionné la difficulté (D5) que les élèves peuvent éprouver à imaginer la simultanéité des deux réactions inverses (le seul enseignant qui l'a dit l'a fait après avoir identifié l'erreur dans la réponse d'élève) ni cité d'erreur en rapport, les deux tiers des enseignants interrogés (10) remarquent l'erreur de

l'élève pour lequel la réaction inverse n'a lieu qu'après la réaction directe (E6) ce qui manifeste une conception pendulaire de l'état d'équilibre (Barlet et Plouin, 1994).

À l'occasion de l'examen de cette réponse, cinq enseignants ne parlent pas de l'absence de simultanéité des deux réactions invoquées par l'élève. L'un de ces enseignants fait part de sa perplexité « *l'élève aurait-il raison ?* » après avoir admis « *je me pose jamais la question en fait* ». Un autre de ces enseignants ultérieurement dans l'entretien lors de l'examen d'une autre réponse déclare « *ce que je dis (..) c'est que la réaction va évoluer dans un sens avec une certaine vitesse puis dans l'autre sens avec la même vitesse* » manifestant lui-même une conception pendulaire de l'état d'équilibre. Ces exemples montrent que ces enseignants hésitent ou ne corrigent pas l'erreur de l'élève, parce qu'il s'agit de questions qu'ils ne traitent pas comme l'exprime l'un d'eux ou parce qu'ils ont eux-mêmes une difficulté.

Type D

Les enseignants ne mentionnent pas que les élèves peuvent éprouver une difficulté et n'identifient pas l'erreur qui en découle dans une réponse d'élève (D7-E9). Aucun enseignant n'a parlé de difficulté qu'éprouveraient certains élèves à situer la réaction chimique au plan macroscopique et aucun enseignant ne remarque que dans la dernière réponse d'élève examinée, la réaction chimique est considérée à tort au plan microscopique. Au contraire la plupart des enseignants (12) donnent leur approbation à la façon dont cette réponse d'élève est formulée, avant que des échanges leur fassent admettre son caractère discutable. Notre analyse du savoir a précisé la constitution des deux modèles cinétiques introduits par le programme : le modèle cinétique microscopique fait référence aux chocs entre particules, efficaces ou non, le modèle cinétique macroscopique est composé de divers éléments qui sont la réaction chimique directe, la réaction chimique inverse et la vitesse de chacune de ces réactions. L'absence d'identification de cette erreur par les enseignants révèle donc une méconnaissance du contenu disciplinaire.

Pour conclure

Les enseignants sont-ils conscients des difficultés éprouvées par les élèves ?

Pour aborder le concept d'équilibre chimique, les élèves doivent opérer une révision de leurs conceptions sur les transformations chimiques. Les deux premiers points que nous avons relevés dans le tableau 1 (D1, D2) sont considérés comme des modifications de conceptions contribuant à cette révision (Van Driel et al., 1998). Cependant moins de la moitié des enseignants interrogés les mentionne. Il est probable que les autres enseignants ne sont pas conscients de l'importance de ces deux aspects et des difficultés que cela peut engendrer chez certains élèves.

Les autres points que nous avons repérés sont cités ou identifiés par les enseignants comme étant susceptibles d'engendrer des difficultés ou des erreurs, à l'exception d'un (D7-E9) qui concerne le statut macroscopique de la réaction chimique. La difficulté (D8) repérée par les enseignants et pour laquelle nous n'avons pas relevé d'erreur, a pu être surmontée par les élèves grâce à un argument approprié fourni par les enseignants.

Impact de la présentation de réponses d'élèves

La présentation de réponses d'élèves a plusieurs effets. Elle permet à certains enseignants de prendre conscience d'erreurs d'élèves qu'ils n'avaient pas encore rencontrées (type C). Cela participe à l'augmentation de leur PCK. Elle révèle également que certains enseignants partagent certaines difficultés avec leurs élèves (types B et D) et contribue à amorcer une réflexion chez ces mêmes enseignants sur la nature des difficultés que peuvent éprouver les élèves. Elle nous permet aussi de relever quels arguments conduisent les enseignants à surmonter les difficultés qu'ils ont éprouvées au cours de l'entretien (Kermen, 2007).

Les principales sources de difficultés pour certains enseignants (et élèves) résident dans l'utilisation des modèles introduits par ce programme. Nos résultats montrent que les élèves et les enseignants ne font pas une distinction claire d'une part entre la transformation chimique et les

réactions chimiques qui la modélisent, d'autre part entre le modèle cinétique microscopique et le modèle macroscopique.

La reconnaissance d'erreurs par les enseignants suivie d'une réflexion sur la recherche des causes d'erreurs et d'arguments permettant de les surmonter conduit à un développement des connaissances professionnelles locales.

Nos résultats nous permettent de proposer des orientations pour une formation d'enseignants. Il s'agit de concevoir une formation disciplinaire axée sur une présentation en termes de modèles et de leur champ d'application, reliée à une étude des difficultés que les élèves éprouvent sur les thèmes que nous avons relevés. La formation disciplinaire pourrait comporter une présentation des modèles utilisés et une réflexion sur leur nature, sur leurs limites, sur les relations qui peuvent exister entre ces modèles qui réfèrent à un même registre empirique, et les relations qu'il convient d'établir avec ce dernier. Pour faire réfléchir les enseignants sur la prise en compte des difficultés des élèves, des discussions en petits groupes seraient organisées autour de réponses d'élèves judicieusement choisies, autour d'extraits de livres, autour d'extraits de séquences d'enseignement enregistrées et transcrites. Il s'agit de permettre aux enseignants de repérer ces difficultés et de trouver des arguments pertinents pour qu'ensuite ils proposent des situations favorables au dépassement de ces difficultés.

Références

- BARDIN, L., *L'analyse de contenu*, Paris, Presses Universitaires de France, 1993.
- BARLET, R. & PLOUIN, D., « L'équation-bilan en chimie, un concept intégrateur source de difficultés persistantes », *ASTER*, 18, 27-56, 1994.
- BAXTER, J. A. & LEDERMAN, N. G., "Assessment and measurement of pedagogical content knowledge", in J. GESS-NEWSOME and N. G. LEDERMAN (Eds) *Examining Pedagogical Content Knowledge*, Dordrecht, Kluwer Academic Publisher, 147-162, 1999.
- BOND-ROBINSON, J., "Identifying pedagogical content knowledge (PCK) in the chemistry laboratory", *Chemistry Education Research and Practice*, 6 (2), 83-103, 2005.
- DAVOUS, D., FEORE, M.-C., FORT, L., LÉVÊQUE, T., MAUHOURET, M.-B., PERCHARD, J.-P. & JULLIEN, L., « Le nouveau programme de la classe de seconde, Transformation chimique d'un système, Le modèle de la réaction chimique », *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 93, 817, pages vertes 1-35, 1999.
- DAVOUS, D., DUMONT, M., FEORE, M.-C., FORT, L., GLEIZE, R., MAUHOURET, M.-B., & ZOBIRI, T., « À propos des nouveaux programmes en terminale S. Questions/réponses », *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 96, 846, 21-30, 2002.
- DAVOUS, D., DUMONT, M., FEORE, M.-C., FORT, L., GLEIZE, R., MAUHOURET, M.-B., ZOBIRI, T. & JULLIEN, L., 2003, « Les nouveaux programmes de chimie au lycée », *l'Actualité chimique*, février 2003, 31-44.
- DE JONG, O., « Points de vue de professeurs et de futurs professeurs de chimie concernant l'enseignement de la combustion », *ASTER*, 26, 83-205, 1998.
- DE JONG, O., "Exploring science teachers' pedagogical content knowledge", in D. PSILLOS et al. (eds), *Science Education Research in the Knowledge- Based Society*, Kluwer Academic Publishers, 373-381, 2003.
- GEDDIS, A. N., "Transforming subject-matter knowledge: the role of pedagogical content knowledge in learning to reflect on teaching", *International Journal of Science Education*, 15, 6, 673-683, 1993.
- GESS-NEWSOME, J., "Pedagogical content knowledge: an introduction and orientation", in J. GESS-NEWSOME and N. G. LEDERMAN (Eds) *Examining Pedagogical Content Knowledge*, Dordrecht, Kluwer Academic Publisher, 3-20, 1999.
- GOFFARD, M., « Des programmes de chimie à leur mise en œuvre », *Didaskalia*, 3, 129-137, 1994.

KERMEN, I., “Investigating students’ and teachers’ reactions to a curriculum on the evolution of a chemical system” in H. E. Fischer (Ed) *Developing standards in research on science education, the ESERA Summer school 2004*, London, Taylor & Francis, 131-138, 2005a.

KERMEN, I., « Pourquoi une transformation chimique s’arrête-t-elle ? Les explications d’élèves de terminale S », *4es rencontres de l’ARDIST, 10-15 octobre 2005*, I.N.R.P., 193-200, 2005b.

KERMEN, I., « Prévoir et expliquer l’évolution des systèmes chimiques », thèse de doctorat, Université Paris Diderot- Paris7, 2007.

KERMEN, I. & MÉHEUT, M., « Évolution des systèmes chimiques et équilibres chimiques en terminale S », *Bull. Un. Phys.*, 98, 866, 1145-1156, 2004.

MAGNUSSON, S., KRAJCIK, J. & BORKO, H., “Nature, sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching”, in J. GESS-NEWSOME and N. G. LEDERMAN (Eds) *Examining Pedagogical Content Knowledge*, Dordrecht, Kluwer Academic Publisher, 95-132, 1999.

MÉHEUT M., « Recherches en didactique et formation des enseignants de sciences », in Eurydice (Ed) *L’enseignement des sciences dans les établissements scolaires en Europe. États des lieux des politiques et de la recherche*, Bruxelles, Eurydice, 2006.

MORGE, L., « Les connaissances professionnelles locales : le cas d’une séance sur le modèle particulaire », *Didaskalia*, 23, 101-131, 2003.

SHULMAN, L. S., “Knowledge and Teaching: foundations of the new reform”, *Harvard Educational Review*, 57, 1, 1-22, 1987

SHULMAN, L. S., Foreword, in J. GESS-NEWSOME and N. G. LEDERMAN (Eds) *Examining Pedagogical Content Knowledge*, Dordrecht, Kluwer Academic Publisher, ix-xii, 1999.

VAN DRIEL, J. H., VERLOOP, N. & DE VOOS, W., “Developing science teachers’ pedagogical content knowledge”, *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 6, 673-695, 1998.

VIENNOT, L., CHAUVET, F., COLIN, P. & REBMANN, G., “Designing strategies and tools for teacher training: the role of critical details, examples in optics”, *Science Education*, 89 (1), 13-27, 2005.

Annexe

		ENSEIGNANTS														
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Difficulté-erreur	D2-E2	B	B	D	B	D	D	D	D	C	D	B	B	D	D	B
	D3-E3	C	C	C	C	D	C	D	C	C	C	C	C	C	C	A
	D4-E5	B	A	A	A	C	C	C	B	A	C	A	A	B	B	A
	D5-E6	C	C	A	C	D	C	C	C	D	C	D	D	C	D	C
	D6-E7	A	B	D	D	B	B	B	A	A	A	A	B	A	D	D
	D6-E8	A	B	D	C	B	B	B	B	A	A	B	B	B	D	C
	D7-E9	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
I (A+C)		4	3	3	4	1	3	2	3	5	5	3	2	3	1	4
ni M, ni I (D)		1	1	4	2	4	2	3	2	2	2	2	2	2	5	2

Tableau 3 : Type auquel appartient chaque enseignant pour chaque couple difficulté-erreur associée

Sept erreurs étaient susceptibles d’être identifiées par les enseignants dans les réponses examinées. Il est intéressant de comparer le nombre d’erreurs qu’ils ont identifiées (avant-dernière ligne du tableau qui récapitule le nombre de types A et C) et le nombre de difficulté et erreur associée (D) qu’ils n’ont ni mentionné (M) ni identifiée (I) (dernière ligne du tableau).