

UN ASPECT DES CONNAISSANCES PROFESSIONNELLES D'ENSEIGNANTS DE
CHIMIE : LA PERCEPTION DES INTENTIONS DIDACTIQUES EXPRIMEES PAR LES
AUTEURS DU PROGRAMME DE LYCEE

Isabelle Kermen

Université d'Artois
Faculté J. Perrin
Rue Jean Souvraz, SP 18
62307 Lens Cedex- France
Laboratoire de didactique André Revuz,
Université Paris Diderot-Paris7,
UA, UCP, UPEC
isabelle.kermen@univ-artois.fr

Mots-clés : programme de chimie, analyse épistémologique, intentions didactiques, connaissances professionnelles

Résumé. Le programme de chimie du lycée en France a proposé une approche renouvelée de l'évolution des systèmes chimiques. Une analyse épistémologique du programme a été conduite et couplée à une analyse didactique visant à définir les enjeux de ce programme, liés aux intentions didactiques exprimées par ses auteurs. Les connaissances pédagogiques du contenu (PCK) « évolution des systèmes chimiques » sont des connaissances professionnelles spécifiquement développées par l'enseignement de ce programme que les enseignants construisent notamment à partir de leur connaissance du contenu disciplinaire, leur perception des enjeux du programme et des difficultés des élèves. Cette communication expose comment les enseignants perçoivent les intentions didactiques des auteurs et à quels enjeux ils adhèrent, au travers de l'analyse d'entretiens semi-directifs conduits avec 15 enseignants de terminale S.

1. Contexte

En France les programmes de lycée (second cycle de l'enseignement secondaire) ont été modifiés à la rentrée 2000 en classe de seconde puis en 2001 pour la classe de première et en 2002 pour la classe terminale (grade 12). Le programme de chimie a proposé une approche renouvelée des transformations chimiques, mettant l'accent sur l'évolution des systèmes chimiques dès la classe de seconde, ce thème constituant par ailleurs le fil directeur du programme de la classe de terminale S (option scientifique). Les auteurs ont communiqué leurs intentions didactiques parmi lesquelles, utiliser un critère d'évolution à caractère général et différencier les faits expérimentaux des modèles (Davous et al., 2003) reprenant là un aspect déjà noté par les auteurs du précédent programme (Goffard, 1994), et signalant l'importance qu'il faut accorder à la notion de modèle, « en particulier par le double regard macroscopique-microscopique » (Davous et al., 2003) que doivent promouvoir certaines activités. Les effets de l'enseignement d'une partie de ce programme en terminale S ont été étudiés. L'étude complète comporte une analyse épistémologique et didactique du programme de ce niveau, une évaluation des effets de l'enseignement sur les connaissances et raisonnements des élèves et une exploration de certaines connaissances professionnelles développées par les enseignants. Cette communication porte sur un aspect des connaissances professionnelles des enseignants, nous précisons maintenant le cadre théorique adopté.

2. Cadre de référence

Pour étudier les connaissances professionnelles des enseignants nous nous référons aux travaux qui insistent sur la prise en compte du contenu disciplinaire à enseigner. Martin del Pozo (1994) a proposé une définition du savoir professionnel nécessaire à l'enseignement d'un contenu donné (les transformations chimiques) comprenant trois aspects principaux : la connaissance du contenu disciplinaire et du champ conceptuel associé, la connaissance des conceptions des élèves pour définir des objectifs-obstacles, la connaissance du savoir scolaire déjà élaboré c'est-à-dire le programme, les manuels scolaires et les documents pédagogiques relatant des innovations. Ultérieurement (Martin Del Pozo et Porlan, 2001) elle relie ces composantes à la notion de Pedagogical Content Knowledge (PCK) due à Shulman (1986). Ce dernier, en proposant une classification des divers domaines de connaissances nécessaires aux enseignants pour exercer leur activité professionnelle, met l'accent sur les connaissances nécessaires à l'enseignement d'un contenu disciplinaire donné en introduisant les Pedagogical Content Knowledge (Shulman, 1986) ou connaissances pédagogiques du contenu. Cette forme particulière de connaissance 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 *et al.*, 1999). Selon Magnusson, Krajcik et Borko (1999) elles sont élaborées à partir 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. Cette définition inclut davantage de composantes que la définition originelle de Schulman, pour qui les constituants-clés sont la connaissance de différentes représentations du contenu disciplinaire et la compréhension des difficultés d'apprentissage liées à ce contenu (Van Driel *et al.*, 1998), les modifications apportées par différents chercheurs ont déjà été signalées (Van Driel *et al.*, 1998 ; Gess-Newsome, 1999 ; De Jong, 2003). Certains auteurs (Geddis, 1993 ; De Jong, 1998 ; Bond-Robinson, 2005) insistent sur le rôle de ces PCK, transformer un contenu donné en quelque chose qui puisse être enseigné et accessible aux capacités cognitives des élèves ou des étudiants. Leur développement s'effectue au travers d'un processus intégré enraciné dans la pratique (Van Driel *et al.*, 1998 ; De Jong, 2003), ce qui explique que les professeurs débutants ou traitant d'un sujet donné pour la première fois en soient dépourvus. Rollnick, Bennett, Rhemtula, Dharsey et Ndlovu (2008) soulignent que la maîtrise du contenu disciplinaire est cruciale pour le développement des PCK. Morge (2003) étudie les connaissances professionnelles locales nécessaires à l'enseignement d'un contenu donné lors d'une séquence particulière, qui dépendent alors de la séance, une forme locale de PCK (Morge, 2009) tout en soulignant que la réflexion sur la place de ces connaissances dans la typologie de Shulman doit être encore poursuivie.

Un autre courant de recherche s'est directement intéressé à la perception des intentions didactiques d'auteurs de programme ou d'innovations par les enseignants. Des études françaises (Hirn, 1995 ; Couchouren *et al.*, 1996) ont caractérisé l'écart entre les intentions didactiques des auteurs de programme et ce que font ou pensent des enseignants, montrant notamment que les habitudes professionnelles constituent une limite à la perception des nouveautés (Couchouren *et al.*, 1996). Un projet de recherche européen (STTIS) a étudié la façon dont les enseignants de quatre pays modifient des innovations curriculaires qui leur sont proposées afin de rechercher des tendances communes à ces transformations (Pinto, 2005). Ces études montrent que les transformations sont une conséquence du processus de communication des intentions didactiques (Pinto, 2005, p.7). Certaines sont bénignes, d'autres problématiques et reposent sur des incompréhensions ou des connaissances insuffisantes, sur l'attrait des anciennes habitudes ou sur de profondes différences d'opinion relatives au contenu disciplinaire (Pinto, 2005, p.7).

De notre point de vue, la compréhension des intentions didactiques (des auteurs de programme) par un enseignant participe à l'approfondissement du contenu disciplinaire, à l'appropriation du programme et à la construction de nouvelles représentations du contenu à enseigner notamment lorsque celui-ci est modifié de façon profonde. Notre travail vise à explorer certaines composantes nécessaires au développement des connaissances pédagogiques du contenu « évolution des

systèmes chimiques » des enseignants, à savoir leur connaissance du contenu disciplinaire, leur perception des enjeux du programme et des difficultés des élèves. Il se situe en amont d'une identification des connaissances pédagogiques relatives à ce contenu dans la mesure où nous n'effectuons pas d'observation de séances de classe portant sur ce contenu. Dans cette communication nous nous limitons à exposer comment les enseignants perçoivent les intentions didactiques des auteurs du programme et quels sont les enjeux auxquels ils adhèrent.

3. Problématique

Cette communication vise aussi à mettre en lumière certains des choix qui ont présidé à l'élaboration du programme de chimie en présentant une analyse épistémologique de ce programme en termes de registre théorique, registre des modèles et registre empirique (Tiberghien *et al.*, 1995). Dans le programme l'évolution des systèmes chimiques est abordée sous deux aspects, cinétique et thermodynamique, auxquels correspondent des champs théoriques différents et des modèles différents. La confrontation des contenus au savoir scientifique de référence conduit à considérer que trois modèles sont évoqués de façon plus ou moins explicite. Un modèle thermodynamique permet de prévoir et d'expliquer le sens d'évolution des systèmes chimiques. Les deux autres modèles, cinétiques car ayant trait à la vitesse des phénomènes chimiques, ont un rôle d'explication qualitative à deux niveaux différents, l'un à l'échelle macroscopique, l'autre à l'échelle microscopique. (voir détails en annexe)

La comparaison des contenus de ce programme à ceux enseignés dans les classes antérieures conduit à privilégier trois thèmes, les transformations chimiques non totales, le critère d'évolution spontanée, l'état d'équilibre chimique, parce qu'ils constituent des nouveautés conceptuelles pour les élèves en classe de terminale. L'analyse épistémologique du contenu et la prise en compte des intentions didactiques exprimées par les auteurs du programme ont permis de préciser ces thèmes et de les considérer comme des enjeux du programme. Les enseignants considèrent-ils ces trois thèmes comme des enjeux du programme ?

Cette question se décline de la façon suivante selon chaque thème. La transformation d'un système chimique est distincte des deux réactions chimiques (directe et inverse) qui permettent de la modéliser et notre analyse montre que les auteurs du programme ne mettent pas cet aspect en lumière alors qu'ils l'avaient fait dans le programme de seconde. Cette distinction est-elle effectuée par les enseignants lorsqu'il est question de l'évolution du système ou de son arrêt ? Les enseignants utilisent-ils indifféremment les termes transformation et réaction ?

Au critère d'évolution est associée l'idée que la plupart des systèmes évoluent vers un état d'équilibre chimique, point de vue en rupture avec celui qui prévalait dans l'ancien programme où deux procédures distinctes étaient utilisées selon qu'il s'agissait d'une transformation acido-basique ou d'oxydoréduction et sans que la composition initiale du système soit prise en compte. Comment les enseignants utilisent-ils le critère d'évolution et qu'en disent-ils ? Connaissent-ils les limites de l'utilisation du critère ?

L'interprétation de l'état d'équilibre chimique est l'occasion d'utiliser les trois modèles mis en lumière par notre analyse, ce qui n'est pas mis en avant par le programme. Les enseignants privilégient-ils un modèle ou un type d'explication ?

Par la suite ces enjeux sont désignés par les termes « transformation et réaction », « évolution et critère » et « équilibre et modèles »

4. Méthodologie

Des entretiens semi directifs ou focalisés (Bardin, 1993) ont été réalisés avec quinze enseignants de physique chimie exerçant en classe de terminale S dans différents lycées (7) situés dans trois

académies du nord de la France. Tous les enseignants interrogés étaient titulaires depuis cinq ans au moins. Dix d'entre eux avaient enseigné l'ancien programme de terminale S. Tous étaient volontaires et avaient été informés avant l'entretien que celui-ci consisterait en une discussion sur le programme de chimie de terminale.

Les entretiens réalisés comportent deux parties, la première est constituée de questions, la seconde s'appuie sur la présentation de productions d'élèves révélatrices de difficultés. Les premières questions portent sur les difficultés d'apprentissage des élèves et les enjeux du programme de façon ouverte, puis les suivantes focalisent sur les enjeux étudiés (distinction entre transformation et réactions chimiques, expliquer l'arrêt d'une transformation chimique non totale, exprimer le quotient de réaction), la dernière demandant quelles situations l'enseignant a proposé à ses élèves parmi un ensemble d'énoncés écrits qui lui sont montrés. Dans la seconde partie des réponses d'élèves issues de nos enquêtes par questionnaires et comportant des erreurs révélatrices de difficultés spécifiques sont présentées à l'enseignant (voir annexe). La première réponse (R1) comporte une erreur dans l'expression du quotient de réaction. La deuxième (R2) propose à tort une évolution malgré l'absence d'une espèce nécessaire, la situation étudiée constituant un cas limite d'application du critère d'évolution. Les quatre réponses suivantes expliquent l'arrêt de l'évolution d'un système après une transformation chimique non totale. À propos de trois de ces réponses (R3, R4, R5), il est demandé aux enseignants ce qu'ils attendent comme explication afin de déterminer s'ils perçoivent l'intérêt d'utiliser un modèle cinétique pour interpréter un état d'équilibre chimique. La référence erronée au niveau microscopique¹ faite par l'élève dans la dernière réponse (R6) doit permettre de savoir si le modèle cinétique microscopique est pris en compte par l'enseignant et comment il le conçoit. Cette deuxième partie a aussi été conçue pour répondre aux autres questions de recherche portant sur la connaissance du contenu disciplinaire et la connaissance des difficultés des élèves, qui ne font pas l'objet de cette communication.

Les entretiens ont été transcrits dans leur intégralité. Ce corpus a été scindé en unités de signification (Bardin, 1993) qui sont soit des phrases, soit des extraits de phrase. Ces unités de signification ont été classées en catégories thématiques dépendant des questions de recherche posées. Certaines de ces catégories ont été définies a priori à partir des analyses du programme et des raisonnements des élèves, les analyses préalables, d'autres ont émergé des données en ce sens qu'elles n'étaient pas rigidement définies au départ et qu'elles se sont progressivement clarifiées et imposées lors de confrontations entre données et analyses préalables. Nous avons suivi en cela une méthodologie s'apparentant à une double approche, à la fois ancrée dans un cadre théorique d'analyse et inductive, telle que décrite par Strauss et Corbin (1990).

5. Résultats

5.1 Analyse du programme

L'analyse didactique du programme montre que certaines intentions exprimées par les auteurs du programme ne font pas l'objet de savoirs évalués au baccalauréat. L'utilisation des modèles cinétiques n'est pas imposée, le double regard macroscopique microscopique n'est donc pas valorisé. Par ailleurs les commentaires du programme ne signalent pas que le modèle utilisé dans les classes antérieures pour représenter les transformations chimiques totales est modifié lorsque le champ empirique s'élargit aux transformations non totales et que la distinction entre les deux concepts transformation et réaction prend un nouveau relief dans l'état d'équilibre chimique. En effet la transformation chimique est terminée alors que concevoir deux réactions chimiques opposées ayant la même vitesse permet d'expliquer l'absence d'évolution du système en dépit de

¹ Le modèle microscopique met en jeu des entités (atomes, ions ou molécules) en mouvement incessant, donc sujettes à des collisions. Au cours de collisions particulières appelées chocs efficaces, de nouvelles entités sont formées par transfert d'électrons, modification de liaisons chimiques. Une réaction chimique est un modèle macroscopique, sous forme de bilan, qui indique les espèces initiales, les espèces formées et dans quelles proportions.

la présence de toutes les espèces pouvant réagir. Au contraire l'introduction du critère d'évolution s'accompagne de développements précis et de consignes claires quant aux capacités à évaluer. Cela nous conduit à dire que dans le libellé du programme, l'enjeu « évolution et critère » apparaît clairement affirmé alors que les deux autres « transformation et réaction » et « équilibre et modèles » le sont moins.

5.2 Enjeu « transformation et réaction »

À propos de l'enjeu « transformation et réaction » (cf tableau 1), aucun des enseignants interrogés n'exprime l'idée que l'étude de transformations chimiques non totales en terminale est l'occasion de revenir sur la distinction entre les deux concepts, transformation et réaction (TR1). Moins de la moitié des enseignants interrogés évoque la distinction entre transformation et réaction à propos de l'évolution d'un système ou de l'arrêt de l'évolution (TR2, TR3). Les enseignants sont presque unanimes pour dire que les élèves ne comprennent pas bien cette distinction (TR4). Six d'entre eux ajoutent que cette distinction n'est pas claire pour eux et dix reconnaissent aussi spontanément dire à l'occasion d'explications orales, réaction au lieu de transformation. Au total, quatorze enseignants font part d'un problème de distinction entre les deux termes. Huit enseignants pensent que la confusion entre les deux notions n'affecte pas la compréhension que les élèves peuvent avoir des phénomènes chimiques (TR7). Quatre enseignants fournissent un exemple où cette confusion conduit à des contradictions ou des erreurs (TR8).

code	Catégories de réponses	Nb
TR1	L'introduction des transformations non totales permet de « réactiver » la distinction entre transformation et réaction	0
TR2	Deux réactions inverses pour expliquer l'évolution du système	7
TR3	Deux réactions inverses pour expliquer l'arrêt d'une transformation non totale	5
TR4	Les élèves ne comprennent pas bien la différence entre transformation et réaction	12
TR5	L'enseignant ne comprend pas bien la différence entre transformation et réaction	6
TR6	L'enseignant confond parfois transformation et réaction dans son discours	10
TR7	La confusion entre transformation et réaction ne gêne pas la compréhension des élèves	8
TR8	Cas où la confusion entre transformation et réaction est gênante	4

Tableau 1 : Catégorisation du discours des enseignants à propos de l'enjeu « transformation et réaction »

5.3 Enjeu « évolution et critère »

Concernant le thème « évolution et critère » (cf tableau 2) trois enseignants soulignent la place consacrée à l'évolution des systèmes en général (EC1), qui est le fil directeur du programme de physique et de chimie, et cinq parlent de l'état d'équilibre chimique, terme ultime de l'évolution du système (EC2). Cependant les enseignants parlent d'évolution des systèmes en mentionnant le critère d'évolution (EC3) qu'ils utilisent tous de façon très courante pour les situations préconisées par le programme (EC5, EC6, EC8). Sept d'entre eux signalent l'intérêt qu'ils voient à l'utilisation du critère qui constitue une règle à appliquer dans toute situation chimique tandis que deux enseignants mentionnent la différence avec ce qui se faisait dans l'ancien programme, où il fallait mettre en œuvre deux raisonnements différents selon que la transformation chimique considérée relevait du domaine acido-basique ou oxydoréduction. Neuf enseignants déclarent ne pas parler des limites d'application du critère aux élèves (EC4). Face à la réponse d'élève (R2) où l'application du critère d'évolution pose problème puisqu'elle conduit à proposer une évolution impossible à réaliser si l'on ne prend pas garde à la composition du système, huit des enseignants interrogés repèrent que le critère d'évolution est mis en défaut.

code	Catégories de réponses	Nb
EC1	mention de l'évolution des systèmes chimiques de façon générale	3
EC 2	l'état d'équilibre chimique vu comme terme de l'évolution du système.	5
EC 3	évolution du système évoquée avec le critère d'évolution	12
EC 4	cas limites d'utilisation du critère d'évolution pas mentionnés	9
EC 5	utilisation du critère pour prévoir le sens d'évolution quand toutes les espèces (écrites dans l'équation chimique) sont présentes initialement	15
EC 6	utilisation du critère d'évolution pour prévoir lorsque seules les espèces écrites à gauche dans l'équation chimique sont présentes	14
EC 7	utilisation du critère d'évolution pour prévoir lorsqu'une seule des espèces écrites dans l'équation chimique est manquante	3
EC 8	utilisation du critère pour justifier une absence d'évolution	13

Tableau 2 : Catégorisation du discours des enseignants à propos de l'enjeu « évolution et critère »

5.4 Enjeu « équilibre et modèles »

À propos du thème « équilibre et modèles » (voir tableau 3), les enseignants utilisent davantage le modèle thermodynamique (EM1) ou des éléments du modèle cinétique macroscopique (EM2) que le modèle cinétique microscopique (EM3) dans leurs explications pour caractériser l'état d'équilibre chimique. En commentant les réponses d'élèves R3, R4 et R5, douze enseignants déclarent que l'élève aurait dû calculer le quotient de réaction pour montrer son égalité à la constante d'équilibre, afin d'expliquer l'arrêt de la transformation chimique (EM1). Huit d'entre eux disent ne pas attendre de justification cinétique de la part des élèves alors que deux enseignants affirment souhaiter une réponse cinétique sans évoquer le quotient de réaction. La présentation de la réponse R6 a permis de montrer que la plupart des enseignants (12) ne jugent pas importante une utilisation non rigoureuse des modèles cinétiques dans le cadre de l'interprétation microscopique de l'état d'équilibre chimique. En effet ils approuvent cette réponse en considérant à tort qu'une réaction chimique ou une vitesse de réaction sont des concepts microscopiques (EM4). Ce n'est qu'à l'issue d'une question fermée qu'ils reconnaissent leur méprise (EM5) et indiquent quels sont les concepts qui relèvent du niveau microscopique (EM6). Certains (6) déclarent ne pas traiter la partie du programme proposant une interprétation microscopique de l'état d'équilibre chimique (EM7) tandis que d'autres (8) signalent que cette interprétation est peu utilisée.

code	catégories de réponses	Nb
EM1	état d'équilibre et quotient de réaction	12
EM2	état d'équilibre et réactions inverses	11
EM3	état d'équilibre et chocs efficaces	5
EM4	la réaction chimique ou la vitesse de réaction considérée comme un concept microscopique	12
EM5	la vitesse de réaction est une grandeur macroscopique	14
EM6	les chocs efficaces correspondent au plan microscopique	12
EM7	l'explication de l'état d'équilibre au plan microscopique n'est pas enseignée	6

Tableau 3 : Catégorisation du discours des enseignants à propos de l'enjeu « équilibre et modèles »

5.5 Discussion

Notre analyse des entretiens montre que la distinction entre transformation chimique et réactions chimiques, conséquence emblématique de l'intention de distinguer faits et modèles, n'est pas

ressentie comme un enjeu du programme par la plupart des enseignants interrogés. Ils sont assez nombreux à reconnaître spontanément l'emploi d'un terme pour l'autre, certains allant même jusqu'à dire ne pas comprendre la distinction. On peut y voir la marque des habitudes antérieures (Couchouren *et al.*, 1996 ; Pintó, 2005) et la difficulté qu'il y a à les faire évoluer comme le souligne une enseignante qui déclare que « la réaction chimique représentait à la fois la transformation, l'équation etc ». Cependant cela pose aussi la question plus générale de la compréhension du rôle des modèles qu'ont les enseignants, car ils sont nombreux (12) à dire que les élèves ne comprennent pas la distinction entre les deux concepts, mais plus de la moitié (8) considère qu'une confusion entre les deux concepts n'est pas préjudiciable à la compréhension des élèves et seuls quatre enseignants proposent un exemple de confusion illustrant les difficultés de compréhension des élèves. On peut penser que les enseignants ne donnent pas suffisamment d'arguments et d'exemples aux élèves pour leur permettre d'appréhender la différence entre ces deux concepts.

Au contraire l'introduction d'un critère d'évolution à caractère général est un enjeu du programme reconnu. Les enseignants interrogés utilisent systématiquement le critère d'évolution pour faire prévoir l'évolution d'un système chimique par leurs élèves, dans des situations diverses. Près de la moitié des enseignants interrogés affirme l'utilité de cette règle générale. Neuf d'entre eux ne parlent pas de limites d'application mais ils sont presque aussi nombreux (8) à reconnaître devant une réponse d'élève que le critère d'évolution ne s'applique pas. Ces éléments permettent de dire que l'utilisation du critère est bien ancrée et appréciée et que l'intention didactique correspondante est comprise.

Pour interpréter l'état d'équilibre chimique, les enseignants privilégient le modèle thermodynamique au dépend des modèles cinétiques. En effet ils s'étonnent de l'absence d'utilisation du quotient de réaction dans les réponses d'élèves (R3-5) qui leur sont présentées et près de la moitié des enseignants interrogés n'attendent pas de justification cinétique. Certains enseignants effectuent une transformation radicale du contenu à enseigner dans la mesure où ils n'enseignent pas le modèle microscopique, réduisant à néant l'intention des auteurs du programme de développer un double regard macroscopique-microscopique. Cette forme de transformation d'une innovation curriculaire peut être qualifiée de très problématique (Pintó, 2005) et soulève la question de la communication des intentions didactiques des auteurs de programme.

Ces résultats confirment ce que notre analyse didactique du programme laissait présager.

6. Perspectives

Ce travail, dans son ensemble, constitue une phase exploratoire de caractérisation de certaines composantes des PCK relatives à ce contenu disciplinaire, dans la mesure où les manifestations de ces PCK ont lieu dans la classe et où nous n'avons pas encore mené d'observation de classe, ni effectué d'entretiens narratifs d'une séance tels que les proposent Loughran, Mullham et Berry (2004) dans leur méthodologie d'étude des PCK. Contribuer à préciser le concept de PCK et à le situer par rapport à d'autres cadres théoriques existant tels que la double approche didactique et ergonomique (Robert et Rogalski, 2002) ou l'agir enseignant (Bucheton, 2009) constitue notre perspective à moyen terme.

7. Bibliographie

- Bardin L. (1993). *L'analyse de contenu*. Paris, Presses Universitaires de France.
- Bond-Robinson J. (2005). Identifying pedagogical content knowledge (PCK) in the chemistry laboratory, *Chemistry Education Research and Practice*, 6 (2), 83-103. Disponible sur <http://www.rsc.org/Education/CERP>
- Bucheton D. (2009) *L'agir enseignant : des gestes professionnels ajustés*, Toulouse, Octarès.

- Couchouren M., Viennot L., Courdille J.-M. (1996). Les habitudes des enseignants et les intentions didactiques des nouveaux programmes d'électricité en classe de quatrième, *Didaskalia*, 8, 81-96
- Davous D., Dumont M., Féore M.-C., Fort L., Gleize R., Mauhourat M.-B., Zobiri T., Jullien L. (2003). Les nouveaux programmes de chimie au lycée, *l'Actualité chimique*, février 2003, 31-44
- De Jong O. (1998). Points de vue de professeurs et de futurs professeurs de chimie concernant l'enseignement de la combustion. *ASTER*, n° 26, p. 183-205.
- De Jong O. (2003). Exploring science teachers' pedagogical content knowledge. In D. Psillos et al. (éds), *Science Education Research in the Knowledge- Based Society*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 373-381.
- Geddis A. N. (1993). 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
- Gess-Newsome J. (1999). Pedagogical content knowledge: an introduction and orientation. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (eds), *Examining Pedagogical Content Knowledge*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 3-20.
- Goffard M. (1994). Des programmes de chimie à leur mise en œuvre, *Didaskalia*, 3, 129-137
- Hirn C. (1995). Comment les enseignants de sciences physiques lisent-ils les intentions didactiques des nouveaux programmes d'optique de classe de quatrième ?, *Didaskalia*, 6, 39-54
- Loughran J., Mullham P. & Berry A. (2004). In search of pedagogical content knowledge in science: developing ways of articulating and documenting professional practice, *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 4, 370-391.
- Magnusson S., Krajcik J., Borko H. (1999). 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 Publishers, 95-132
- Martin del Pozo R. (1994). Tentative de définition d'un savoir professionnel sur le changement chimique pour la formation des enseignants, *ASTER*, 18, 217-240
- Martin Del Pozo R., Porlan R., (2001) Spanish prospective teachers' initial ideas about teaching chemical change, *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, 2, 3, 265-283
- Morge L. (2003). Les connaissances professionnelles locales : le cas d'une séance sur le modèle particulaire, *Didaskalia*, 23, 101-131.
- Morge L. (2009). La simulation croisée pour accéder aux connaissances professionnelles didactiques locales (LPCK) acquises par l'expérience, *Sixièmes rencontres scientifiques de l'ARDiST - Nantes*, 14-16 octobre 2009
- Pintó R. (2005) Introducing curriculum innovations in science: identifying teachers' transformations and the design of related teacher education, *Science Education*, 89, 1-12.
- Robert A., Rogalski J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques : une double approche, *La revue canadienne de l'enseignement des sciences des mathématiques et des technologies*, 2, 4, 505-528
- Rollnick M., Bennett J., Rhemtula M., Dharsey N., Ndlovu T. (2008). The place of subject matter knowledge in pedagogical content knowledge: a case study of south african teachers teaching the amount of substance and chemical equilibrium, *International Journal of Science Education*, 30, 10, 1365-1387.
- Shulman L. S. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching, *Educational Researcher*, 15(2), 4-14
- Strauss A.L., Corbin J. (1990). *Basics of Qualitative Research. Grounded Theory Procedures and Techniques*. Newbury Park, Sage.
- Tiberghien A., Psillos D., Koumaras P. (1995). Physics instruction from epistemological and didactical bases, *Instructional Science*, 22, 423-444
- Van Driel J. H., Verloop N., De Voos W. (1998). Developing science teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 6, 673-695

8. Annexes

8.1 De la description à l'interprétation de l'évolution d'un système et de son arrêt par les différents modèles

Les faits : on mélange deux liquides incolores, de l'eau et de l'acide acétique, on mesure le pH en continu, de l'eau puis du mélange, il varie et devient constant. De cette description phénoménologique, on passe à une description chimique, en termes d'espèces chimiques et d'état du système. Dans l'état initial le système est constitué d'eau et d'acide acétique, dans l'état final, qui est un état d'équilibre chimique, il comporte encore les espèces chimiques eau, acide acétique, et les espèces ions acétate et ions oxonium. Le passage d'un état du système à un autre avec modification de la nature des espèces chimiques en présence est appelé transformation chimique. Cette transformation chimique est interprétée à l'aide d'un modèle, la réaction directe et la réaction inverse, symbolisé par une équation de réaction $AH_{(aq)} + H_2O_{(l)} = A^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$. Ces deux réactions sont des modèles macroscopiques qui précisent les espèces qui réagissent et dans quelles proportions. Tant que le pH varie, le quotient de réaction (qui est une fonction des concentrations des solutés intervenant dans la transformation) est différent de la constante d'équilibre (grandeur attachée à l'équation de réaction et de valeur fixée à température donnée), l'une des réactions a une vitesse plus grande que celle de l'autre, les chocs efficaces sont incessants et tels que le nombre moyen de chaque entité varie. Quand le pH est constant, dans l'état d'équilibre chimique, le quotient de réaction est égal à la constante d'équilibre, les deux vitesses de réaction sont égales, les chocs efficaces sont incessants et tels que le nombre moyen de chaque entité est constant. Dans chacune des phrases précédentes, l'interprétation proposée est triple et fait appel, d'abord au modèle thermodynamique, puis au modèle cinétique macroscopique et enfin au modèle cinétique microscopique.

8.2 Les réponses d'élèves présentées aux enseignants lors de l'entretien

La première réponse R1 a été proposée par un élève à propos de la situation suivante :

Soit l'équation chimique $Ag^+_{(aq)} + Fe^{2+}_{(aq)} = Ag_{(s)} + Fe^{3+}_{(aq)}$ de constante d'équilibre associée $K=3, 2$.

On dispose de fils d'argent et des trois solutions aqueuses suivantes : solution de sulfate de fer (II) ; solution de sulfate de fer (III) ; solution de nitrate d'argent.

À partir de cela, on réalise différents mélanges. On se demande si la composition de chacun va changer. Dites ce que vous prévoyez dans chaque cas et expliquez pourquoi.

Dans un premier bécher, les espèces chimiques en présence initialement sont telles que $n(Ag^+) = 5, 1 \cdot 10^{-3}$ mol ; $n(Fe^{2+}) = 4, 8 \cdot 10^{-3}$ mol ; $n(Ag) = 1, 2 \cdot 10^{-2}$ mol. Il n'y a pas d'ions Fe^{3+} . Le volume de la solution est égal à 100 mL.

R1 : $Q_{ri} = \frac{1}{[Ag^+] \times [Fe^{2+}]} = 408,5$ $Q_{ri} > K$ La transformation se fait dans le sens inverse, l'argent va donc disparaître et la quantité d'ions Ag^+ et Fe^{3+} va augmenter.

La deuxième réponse R2 a été faite dans le cas d'une situation similaire à la précédente : la différence provient du fait que l'espèce absente ($Ag_{(s)}$) est solide.

Dans un troisième bécher, les espèces chimiques en présence initialement sont telles que $n(Ag^+) = 1, 0 \cdot 10^{-2}$ mol ; $n(Fe^{2+}) = 1, 0 \cdot 10^{-2}$ mol ; $n(Fe^{3+}) = 1, 0 \cdot 10^{-2}$ mol. Il n'y a pas d'argent. Le volume de la solution est égal à 100 mL.

R2 : $Q_{ri} = 10$ $Q_{ri} > K$ évolution dans le sens inverse oxydation du fil d'argent.

Les quatre réponses suivantes portent toutes sur le même sujet, expliquer pourquoi une transformation chimique s'arrête. L'équation de réaction, la constante d'équilibre associée, la composition du mélange en quantité de matière dans l'état initial, dans l'état final sont données

aux élèves. Les quatre espèces, des solutés (acide ou base), sont toutes présentes dans l'état initial et dans l'état final.

La question posée est « comment expliqueriez-vous que la transformation cesse ? », (réponses R3 et R6) ou « comment expliquez-vous que les concentrations gardent une valeur constante après un certain temps ? », dans cette deuxième formulation la transformation a eu lieu dans le sens inverse de l'équation $AH_{(aq)} + B_{(aq)}^- = A_{(aq)}^- + BH_{(aq)}$ (réponses R4 et R5).

R3 : La transformation ne cesse pas, les mesures de pH donc les concentrations des différentes espèces chimiques gardent une valeur constante différente de leur valeur initiale car les deux réactions se font à la même vitesse. On est donc bien à l'état d'équilibre.

R4 : la transformation n'est pas totale mais en état d'équilibre. Dans cet état les transformations chimiques se produisent dans un sens et dans l'autre de l'équation écrite, à la même vitesse.

R5 : Après l'équilibre, la réaction se déroule dans les 2 sens. Au départ AH réagit avec B^- pour donner A^- et BH or à l'équilibre A^- réagit avec BH pour donner AH et B^- . La réaction n'évolue plus.

R6 : La transformation cesse à l'échelle macroscopique car, au bout d'un certain temps, le mélange se stabilise c'est-à-dire que les quantités des réactifs ainsi que des produits restent constantes. Cependant, à l'échelle microscopique, la réaction continue, mais avec la même vitesse dans le sens direct que dans le sens inverse et par conséquent les quantités de matière des espèces chimiques se stabilisent.