

Intégration conceptuelle des équilibres acide-base par les étudiants français préparant le CAPES

Kostas GANARAS & Alain DUMON

UMR STEF (ENS Cachan, INRP) ganaras@free.fr

Équipe DAESL du laboratoire « Cultures, Éducation, Sociétés »

(université Victor-Segalen-Bordeaux 2-IUFM d'Aquitaine) alain.dumon@aquitaine.iufm.fr

Résumé • Le but de cette étude descriptive est d'analyser dans quelle mesure des futurs enseignants de physique- chimie du secondaire ont intégré le concept d'équilibre chimique pour interpréter diverses situations du champ empirique des transformations de type acide-base. Une recherche à l'aide d'un questionnaire papier crayon a été effectuée auprès d'étudiants français préparant le CAPES. Les résultats montrent que, pour le référent empirique utilisé, l'intégration conceptuelle des équilibres acide-base reste faible. Le savoir relatif à ces équilibres n'est pas devenu opérant et les connaissances théoriques restent partiellement déconnectées des connaissances expérimentales pour de nombreux futurs enseignants

Mots-clés • Intégration conceptuelle, concept d'équilibre chimique, équilibres acide-base.

Introduction

D'après Taber (2005), l'intégration conceptuelle est vue comme « *la structuration des connaissances qu'un individu s'est organisée de telle façon qu'il y ait des relations fortes entre différents domaines, et donc, généralement parlant, qu'il existe une cohérence entre différentes parties de la connaissance personnelle d'un individu* ». En effet, la construction et l'appropriation d'un concept scientifique correspondent à un processus complexe de structuration de relations inter et intra registres de connaissances. La structuration se fait graduellement en filiation et en rupture avec les connaissances disponibles.

Selon Lemeignan et Weil-Barais (1993), elle nécessite l'articulation de trois registres : celui du champ expérimental du questionnement (objets, actions, événements, questions), celui des systèmes de représentations mentales (invariants conceptuels, relationnels, opératoires) et celui des systèmes de représentations symboliques (langage, représentations graphiques et/ou mathématiques). Ce processus a été illustré par leurs travaux sur deux concepts de la physique : « l'énergie » et « la quantité de mouvement ».

D'après Giordan et de Vecchi (1987), « *Savoir, c'est d'abord être capable d'utiliser ce qu'on a appris, de le mobiliser pour résoudre un problème ou clarifier une situation* ». Mais certains savoirs peuvent-être mobilisés face à une situation donnée sans nécessiter une intégration de la théorie dont-ils découlent. Nous dénommerons de tels savoirs, qui permettent de disposer d'un pouvoir d'action dans des activités fonctionnelles finalisées, « savoirs fonctionnels ». Lors de la résolution de problèmes de mise en concordance des faits et de la théorie, les connaissances mises en jeu peuvent être non seulement opératoires mais également explicitées et justifiées par l'apprenant. Dans ce cas, Orange (1997), reprenant la distinction entre « savoirs scolaires », ayant une utilité d'ordre pratique, et « savoirs théoriques », fonctionnant comme des outils intellectuels disponibles, que met en avant Astolfi (1992), parle de « savoirs opérants ». Il distingue de plus les savoirs opérants théoriques (« compétences pour l'élaboration de constructions théoriques, dans un paradigme, pour rendre compte de phénomènes, les expliquer, les prévoir ») et expérimentaux (« compétences de construction et de conduite de protocoles expérimentaux dans un cadre théorique donné »). Nous considérons que l'intégration conceptuelle des équilibres acide-base sera effective à la fin des études universitaires si les étudiants sont capables d'articuler ces deux aspects du savoir opérant en les intégrant dans le cadre du paradigme épistémique partagé à ce niveau d'étude.

L'enseignement des concepts relatifs aux acides et aux bases occupe une place importante à tous les niveaux de l'enseignement de la chimie. Il débute au collège avec leur identification à l'aide des indicateurs colorés et leur action sur les matériaux. Au lycée, la modélisation selon Brønsted des réactions acide-base est enseignée en première, lors de l'introduction des titrages, et ces réactions servent de support à l'introduction des équilibres chimiques en terminale. La solution aqueuse d'acide éthanóïque constitue l'exemple type de telles réactions, aussi bien pour la détermination d'une constante d'acidité que pour la présentation des courbes de suivi pH-métrique, outils pour le titrage de solutions acides par une solution d'hydroxyde de sodium. Dans cette classe, les indicateurs colorés passent du statut d'objet d'étude, en tant que couples acide-base conjugués dont on détermine le pK_A , à celui d'outil pour le repérage de l'équivalence. La notion de solution tampon

n'apparaît que comme outil dans l'option de spécialité en terminale (dureté de l'eau et synthèse de l'aspirine). Toutes ces connaissances ont été reprises et approfondies à l'université aussi bien sur le plan théorique que sur le plan expérimental. On peut donc penser que l'intégration conceptuelle aura eu le temps de se réaliser.

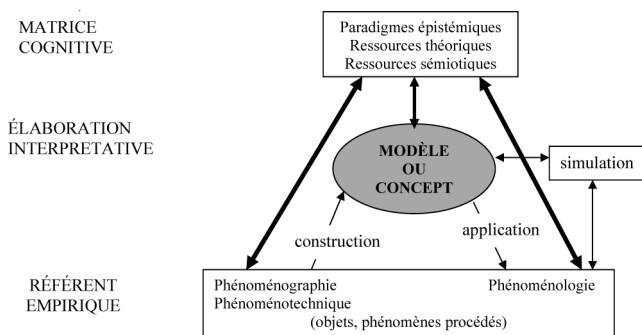
La compréhension des phénomènes mis en jeu lors des réactions acide-base, la prévision des réactions qui interviennent et le calcul du pH des solutions nécessitent la maîtrise des équilibres du concept d'équilibre chimique appliqué aux solutions. En effet, considérer un équilibre c'est être capable de concevoir que les différentes espèces coexistent en solution, c'est être capable de faire la différence entre transformation totale et transformation limitée. Or non seulement les élèves (Goffard, 1993), mais également les étudiants universitaires (Camacho & Good, 1989) ainsi que de futurs enseignants (Banerjee, 1991) rencontrent des difficultés dans la conceptualisation des équilibres ioniques et acide-base : non prise en considération de l'équilibre d'autoprotolyse de l'eau (Banerjee, 1991 ; Demerouti *et al.*, 2004) ; perception des équilibres comme statique plutôt que dynamique (Johnstone *et al.*, 1977 ; Meyer & Doucet, 1988 ; Camacho & Good, 1989 ; Besson, 1994) ; la dissociation d'un acide faible est considérée comme un état d'équilibre définitif qui ne peut être déplacé (Meyer & Doucet, 1988 ; Demerouti *et al.*, 2004). Difficultés que Camacho & Good (1989) expliquent en disant qu'elles découlent du fait que les espèces chimiques en solution (cations, anions, molécules) sont abstraites ou difficiles à conceptualiser. En ce qui concerne la courbe de suivi pH-métrique d'un dosage, diverses études (Nakhleh & Krajcik, 1993 ; Rabier *et al.*, 2001 ; Najia, 2004 ; Ouertatani & Dumon, 2008 ; Le Maréchal & Naija, 2008) montrent que son interprétation pose problème. Il semble que son allure logarithmique soit un obstacle à son interprétation en termes d'évolution des quantités de matière des constituants du système chimique. (Ouertatani & Dumon, 2008 ; Le Maréchal & Naija, 2008). Le saut de pH est associé à un événement perceptible et la courbe de dosage est perçue comme constituée de trois parties (Naija, 2004 ; Sheppard, 2006) : le saut de pH où se produit la réaction chimique, et les parties avant et après le saut qui sont considérées comme une simple évolution d'un milieu acide à un milieu basique : 69 % des élèves interrogés par Sheppard (2006) disent qu'il n'y a pas de réaction dans la première partie de la courbe. De plus les variables V_{eq} et $V_{1/2 eq}$ semblent jouer un rôle privilégié (Rabier *et al.* 2001). Enfin, Nakhleh (1994) et Sheppard (2006) constatent que les élèves ont des difficultés à interpréter le changement de coloration d'un indicateur en fonction du pH.

Le but de notre recherche est d'effectuer une étude descriptive auprès d'étudiants préparant le CAPES et d'analyser dans quelle mesure les futurs

enseignants de physique- chimie du secondaire ont intégré le concept d'équilibre chimique pour interpréter diverses situations du champ empirique des réactions acide-base proposées dans l'enseignement.

1. Cadre théorique

Des recherches menées sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences (Équipe INRP/LIREST, 1992 et 1994) se sont attachées à analyser la relation dialectique entre expérience et théorie mise en jeu en un va-et-vient complexe lors de la construction et l'élaboration des connaissances. Martinand (1992, 1994, 1995) a proposé un schéma dynamique articulant un référent empirique, une élaboration interprétative et une matrice cognitive qui montre cette dialectique et la complexité du processus.



Le référent empirique (ce dont parlent les concepts, modèles ou théories) est constitué d'objets du réel et de phénomènes, mais aussi de pratiques sur ces objets et ces phénomènes. Ces pratiques s'accompagnent de connaissances et de règles d'action sur les objets et d'intervention sur les phénomènes. Liées à ce référent empirique, Martinand distingue :

- une phénoménotechnique correspondant aux savoir-faire expérimentaux (connaissance du matériel, de son fonctionnement, des règles de sécurité, etc.) nécessaires pour exécuter les expérimentations ;
- une phénoménographie correspondant à la capacité à décrire les objets et les phénomènes afin de pouvoir communiquer des informations à leur sujet ; il s'agit d'une description des phénomènes relevant d'une conceptualisation antérieure, (concepts, modèles, théories, etc. déjà enseignés) ;
- une phénoménologie qui correspond à une description du référent faisant appel à des savoirs (concepts, modèles, théories, etc. à enseigner) relatifs à la situation expérimentale étudiée dans ce référent.

L'élaboration interprétative est la représentation du référent empirique réalisée à l'aide des modèles et des concepts enseignés à un moment du curriculum

La matrice cognitive représente « *les formes de rationalité et d'objectivité, les outillages mentaux, graphiques et langagiers, mathématiques ou théoriques pour penser et communiquer* ». Elle contient à la fois les «paradigmes épistémiques» (conception de ce que doit être la connaissance, les formes, «les bonnes pratiques» théoriques ou empiriques) et les ressources théoriques (langages, schémas, théories). Kuhn (1970) parle de «matrice disciplinaire» dans le cadre du fonctionnement de la science normale. Appliquée à l'intégration conceptuelle, on peut considérer que cette matrice correspond à l'ensemble des connaissances théoriques et pratiques d'un étudiant disposant d'un savoir opérant.

Ce schéma a été proposé pour repérer ce qui entre en jeu lors d'activités d'enseignement-apprentissage. Nous l'utiliserons dans un autre sens pour asseoir notre problématique, rédiger les questions posées aux étudiants et pour l'analyse des données de notre étude. Les sujets de notre recherche sont des étudiants diplômés dans le domaine des sciences physiques et qui préparent pendant un an le Certificat d'aptitude au professorat de l'enseignement secondaire (CAPES). Ces étudiants, qui sont en fin de parcours d'enseignement scientifique, devraient avoir à leur disposition une matrice cognitive leur permettant d'articuler leurs différents savoirs relatifs à un ensemble de phénomènes chimiques et de parler, lors de l'épreuve de « montage » du concours, d'un référent empirique en mobilisant et appliquant ces savoirs. L'explication et l'interprétation des phénomènes chimiques et des actions mises en jeu dans une activité expérimentale peuvent être réalisées en mobilisant diverses connaissances chimiques. L'objet de notre étude étant d'analyser si les étudiants ont recours au concept d'équilibre chimique pour interpréter les situations expérimentales, impliquant des équilibres acide-base, qui leur sont présentées, nous avons choisi une catégorisation des réponses conforme au cadre théorique adopté., Nous dénommerons « phénoménologie » (sous entendu la plus élaborée) une description du référent empirique utilisant le concept d'équilibre chimique et « phénoménographie » une description du même référent empirique où le concept d'équilibre chimique n'apparaît pas de façon explicite et dans laquelle sont utilisés d'autres concepts et notions (transformation ou réaction chimique, équation de réaction, précipitation, solubilité, etc.). Ces deux registres de description sont bien entendu tous les deux légitimes.

Notre étude relative à l'intégration conceptuelle des équilibres acide-base par les étudiants préparant le CAPES tentera de répondre aux questions suivantes :

- quels sont les registres de discours (phénoménologie ou phénoménographie) préférentiellement utilisés par des futurs enseignants pour interpréter des phénomènes chimiques impliquant des équilibres acide-base ?
- dans quelle mesure diverses connaissances expérimentales ont-elles été justifiées à l'aide du concept d'équilibre chimique ?
- dans quelle mesure l'aspect dynamique d'un équilibre a-t-il été intégré par ces futurs enseignants.

Les résultats de cette étude descriptive permettront de décrire le 'profil' des futurs enseignants de physique-chimie concernant l'intégration conceptuelle des équilibres acide-base.

2. Méthodologie

Les données ont été recueillies à l'aide d'un questionnaire papier crayon. Dans le but d'avoir des données quantitatives et une représentativité au niveau national pour la recherche, plusieurs IUFM ont été contactés. Six IUFM ont accepté de soumettre le questionnaire auprès des étudiants suivant leur préparation au CAPES. Finalement 173 étudiants ont répondu au questionnaire. Les situations expérimentales choisies pour le questionnement et la formulation des questions découlent d'une étude préliminaire menée auprès d'étudiants de l'IUFM de Versailles : observations et discussions lors des séances de présentation des montages et lors de la préparation de l'épreuve sur dossier, test du questionnaire auprès d'un échantillon de 28 étudiants.

Les situations expérimentales choisies sont des situations du champ empirique proposées dans l'enseignement secondaire et universitaire et que les étudiants doivent être capables de présenter et d'interpréter lors des épreuves orales du CAPES. Une de ces situations a le statut « d'objet d'étude » car utilisée souvent comme exemple de référent empirique pour l'étude des équilibres acide-base, d'autres ont le statut « de solution outil à des fins opérationnelles » car elles ne sont pas systématiquement explorées et interprétées explicitement en termes d'équilibre ou de déplacement d'équilibre. Bien qu'elles soient considérées et prises comme exemples lors des équilibres acide-base à un moment ou à un autre, ces situations gardent le statut de solution outil à des fins d'études quantitatives (titrages) ou de production (synthèse d'une substance organique). Les termes objet et outil sont empruntés à Douady (1986).

Le questionnaire papier crayon, présenté en annexe, est constitué de six questions ouvertes ou fermées. Les questions posées sont uniquement qualitatives en termes d'une phénoménotechnique et/ou d'une phénoménographie la moins élaborée possible de façon à ne pas donner aux étudiants des

indices pour répondre. Le terme équilibre n'est utilisée que dans l'énoncé de la dernière question du questionnaire. La formulation de ce questionnaire a été validée par deux chercheurs en didactique. Les questions 1 et 2 réfèrent à l'utilisation, respectivement de solutions tampon dans les protocoles expérimentaux et de solutions d'indicateurs colorés lors des dosages acide-base. Ces types de solutions, largement utilisées comme solutions outils, ont été toutefois pris comme exemples lors de l'étude des équilibres chimiques acide-base au cours du curriculum. Leur statut est passé d'outil à objet d'étude. Ensuite, elles gardent plutôt le statut d'outil à des fins opérationnelles. Pour de telles situations, la mobilisation du concept d'équilibre chimique conduit à prendre en compte la consommation de certaines espèces chimiques et le déplacement des équilibres chimiques auxquelles elles participent. La situation de la question 3 (3a et 3b) est une situation de type outil mettant en jeu un équilibre acide-base. Les étudiants ont, au cours de leurs études, utilisé ce protocole expérimental ou un équivalent pour synthétiser l'acide benzoïque. Ce sont des situations pour lesquelles il y a passage d'un état d'équilibre à un autre. La question 4 se réfère à une situation correspondant à l'objet d'étude habituel des équilibres chimiques, la solution aqueuse d'acide éthanoïque. Elle est utilisée pour introduire le caractère limité d'une transformation chimique et l'aspect dynamique d'un équilibre chimique : un état apparemment statique où coexistent les réactifs et les produits (phénoménographie) mais en fait où deux réactions inverses continuent à s'effectuer l'une et l'autre à la même vitesse (phénoménologie). La question 5 se rapporte à un titrage d'un acide faible par une base forte utilisé maintes fois au cours de la scolarité comme outil à des fins d'étude quantitative, sans qu'il soit traité explicitement comme une succession d'états d'équilibre obtenus par déplacements successifs. Les étudiants doivent cependant être capables de tracer théoriquement n'importe quelle courbe d'évolution du pH en fonction du volume de réactif titrant pour n'importe quel titrage acide-base en se référant à l'évolution de la variable avancement lors du titrage.

L'analyse du contenu des réponses nous a permis de déterminer les registres de discours préférentiellement utilisés par les futurs enseignants dans leurs interprétations des phénomènes ou dans la justification de leurs réponses aux questions fermées. Les réponses ont été classées en trois catégories, dont deux d'entre elles sont définies en accord avec le cadre théorique : « Phénoménologie du concept d'équilibre chimique » et « Phénoménographie »

2.1 « Phénoménologie du concept d'équilibre chimique » [codage réponse « A1 »]

Ce sont les réponses qui mobilisent et articulent plusieurs éléments de la matrice cognitive : le modèle de Bronsted avec ses concepts d'acides et de bases conjugués ; les entités chimiques (relation avec l'équilibre chimique ?) en présence dans le système chimique ; leurs interactions responsables de l'évolution du système ; le caractère limité d'une transformation chimique ; l'aspect dynamique d'un équilibre chimique ; le déplacement de l'équilibre suite à une perturbation du système et enfin le symbolisme lié au concept d'équilibre chimique. Lorsque les étudiants les utilisent de façon efficace et cohérente par rapport au phénomène chimique questionné, le savoir relatif aux équilibres chimiques acide-base peut être considéré comme opérant et l'intégration conceptuelle réalisée.

2.2 « Phénoménographie » [codage réponse « B »]

Ce sont les réponses qui mobilisent d'autres concepts et connaissances moins structurants que le concept d'équilibre chimique (transformation chimique, équation de réaction, solubilité, précipitation, stabilité d'une espèce selon la nature du milieu, considérations relatives à la composition du système chimique) ainsi que l'interprétation des phénomènes chimiques en termes de transformation totale. Comme nous avons parlé précédemment de la légitimité de chaque registre de description, notons que dans ce cas le fait que la phénoménologie ne soit pas mobilisée ne signifie pas qu'elle n'est pas disponible, il se peut qu'une question plus directe la fasse apparaître, cela veut simplement dire que face à cette situation expérimentale particulière, le savoir relatif aux équilibres chimiques acide-base n'est pas opérant.

Mais certaines réponses mobilisent des aspects théoriques et/ou sémiotiques de la matrice cognitive sans arriver à la phénoménologie. Une troisième catégorie, A2, dénommée « **Formalisme** du concept d'équilibre chimique » a été introduite. Elle correspond aux réponses qui font intervenir un formalisme et/ou un vocabulaire liés au concept d'équilibre chimique (par exemples les couples acide-base conjugués, le diagramme de prédominance, la constante d'équilibre K_a , le produit de solubilité K_s) mais sans qu'un discours n'y soit associé pour préciser la signification qui leur est accordée. Le savoir est mobilisable de façon fonctionnelle mais comme son caractère opérant n'apparaît que partiellement nous considérerons que l'intégration conceptuelle est seulement partielle.

Dans le peu de cas (moins de 4 %) où une réponse contient des éléments caractéristiques pertinents pour plus d'une catégorie, la réponse a été classée selon sa signification dans la catégorie la plus élevée : de B (aucun élément du concept d'équilibre n'est mentionné) à A2 (contenant des éléments de savoirs relatifs au concept d'équilibre) puis A1 (le concept d'équilibre chimique est utilisé de façon efficace pour interpréter la situation). Par exemple une réponse à la question 3a telle que « $C_6H_5COO^- + H_3O^+ \rightarrow C_6H_5COOH + H_2O$. C'est un couple acide-base conjugué d'où il y a réaction » a été classée en A2 et non en B. En effet, la sémiotique de l'équation de réaction et l'expression *il y a réaction* laissent penser à une transformation chimique totale (catégorie B) tandis que l'expression *c'est un couple acide-base conjugué* est liée au concept d'équilibre acide-base.

La catégorisation de cette analyse de contenu a été validée par les mêmes chercheurs que ceux cités précédemment (97 % de concordance des catégorisations). Des exemples représentatifs permettant d'illustrer cette classification sont présentés plus loin avec les résultats obtenus.

Une analyse statistique de type « tri croisé » a été réalisée pour évaluer la cohérence des réponses à certaines questions, sous questions ou items se rapportant à des situations expérimentales devant entraîner des réponses de même type et une autre de type « analyse de correspondances multiples » (ACM) pour évaluer la cohérence des registres utilisés dans leurs réponses aux différentes questions.

3. Résultats

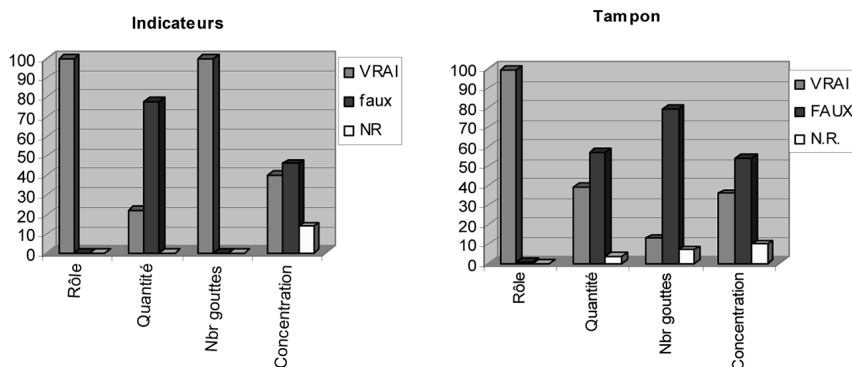
3.1 Rôle, conditions d'utilisation et fonctionnement des indicateurs colorés et des solutions tampon (questions 1 et 2)

Lors de l'utilisation de ces solutions certaines « entités constitutives » sont transformées en leur forme conjuguée et ne peuvent donc jamais être simplement spectatrices, par conséquent la concentration et la quantité utilisées ont une importance. La mobilisation du concept d'équilibre chimique conduit à prendre en compte les interactions de ces entités avec d'autres espèces chimiques ajoutées au milieu réactionnel, avec déplacement des équilibres chimiques auxquels elles participent. Pour chacune des questions, les items sont très dépendants les uns des autres mais rédigés dans des termes qui relèvent de registres différents. L'étude de la corrélation des réponses à différents items pour une même question sera donc intéressante.

3.1.1 Rôle et conditions d'utilisation

Les distributions en fréquences des réponses aux items a, b, c et d des deux questions sont reportées dans la figure 1. À l'item (a) concernant le rôle de ces solutions, la totalité des étudiants a répondu correctement. Aux items (b, c, d) portant sur les conditions d'utilisation de ces solutions la majorité des étudiants répond correctement. Cependant les taux de réussite à ces items se différencient. Ainsi, le registre phénoménoteknique (item c) est disponible avec un taux de réussite de 100 % pour les indicateurs et de 79 % pour les solutions tampons. Ces pourcentages peuvent s'expliquer en considérant que le nombre de gouttes est un point sur lequel les enseignants insistent lors des TP de dosage colorimétriques des acides et des bases depuis le lycée et que pour les solutions tampons c'est un volume important de solution qui est utilisé et non seulement quelques gouttes. Le registre de la phénoménoteknie (sur l'importance de la quantité – item b - et de la concentration – item d - choisie) est disponible pour 78 % et 46 % pour les indicateurs colorés et 57 et 54 % pour les solutions tampons.

Figure 1 : distribution en fréquence des réponses aux items a, b, c, et d des questions 1 et 2

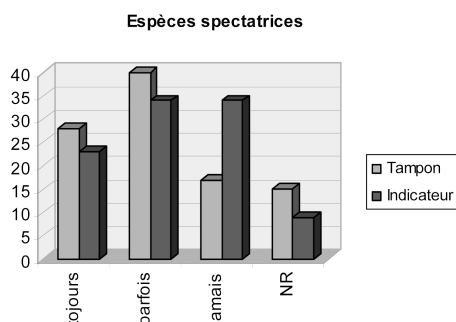


La discordance entre les deux pourcentages observée dans le cas des indicateurs colorés peut s'expliquer par le fait qu'il est rarement fait référence à la concentration des solutions des indicateurs colorés lors de l'enseignement, ce qui n'est pas le cas pour le nombre de gouttes, et donc la quantité. Le tri croisé fait apparaître que seulement 40 % des étudiants apportent des réponses cohérentes (la quantité et la concentration sont importantes) aux items b et d dans le cas des indicateurs colorés et 36 % dans le cas des solutions tampon.

3.1.2 Fonctionnement des solutions

La distribution des fréquences des réponses à la question concernant la nature « spectatrice » des entités constitutives des solutions (item e) est reportée dans la figure 2. Le fonctionnement de ces solutions dans les situations expérimentales n'est interprété que par un pourcentage limité d'étudiants : la participation à des transformations des entités constitutives de ces solutions n'est reconnue explicitement que par 34 % (cas des indicateurs) et 17 % (cas des solutions tampons). Cette idée ne semble donc pas claire pour la majorité des étudiants. C'est ce qui ressort également du tri croisé entre les réponses aux items d et e puisque seulement 23 % (cas des indicateurs) et 13 % (cas des solutions tampons) donnent des réponses cohérentes aux deux questions : la concentration des solutions ne peut avoir une importance que si les entités constitutives participent à des réactions.

Figure 2 : distribution en fréquence des réponses à l'item e des questions 1 et 2



Il semble donc que pour la grande majorité des étudiants ces solutions utilisées comme « outil » ont un statut inaltérabilité lié à, un aspect magique : elles sont présentes en tant que telles dans le milieu réactionnel sans interactions. Ils savent les utiliser mais ne savent pas interpréter leur fonctionnement.

3.2 Interprétation des actions décrites dans un protocole expérimental (questions 3a, 3b)

3.2.1 Question 3a

Les résultats concernant les pourcentages des registres de discours utilisés par les futurs enseignants pour répondre à la question 3a sont présentés dans le tableau 2.

La mobilisation du concept d'équilibre chimique conduit à envisager l'ajout d'acide chlorhydrique comme conduisant au déplacement de l'équili-

bre ($\text{H}_3\text{O}^+ + \text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-_{(\text{aq})} = \text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}$) vers la formation de l'acide benzoïque. Ce déplacement qui augmente la quantité d'acide benzoïque entraîne la cristallisation de celui-ci car il est peu soluble dans l'eau. Une interprétation de ce type relève de la « phénoménologie » du concept d'équilibre chimique. Les quelques réponses (4 %) qui font intervenir ces éléments sont classées dans la catégorie A1, par exemple la réponse : « *Equilibre acido-basique : $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^- + \text{H}^+ = \text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}_{(\text{aq})}$, et $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}_{(\text{aq})} = \text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}_{(\text{s})}$; ajout d'acide \rightarrow les deux équilibres sont déplacés vers la droite »*

La catégorie A2 « formalisme » du concept d'équilibre chimique, qui représente 12 % des réponses, regroupe les réponses dont les éléments caractéristiques repérés sont :

- l'écriture de l'équation correspondant à l'équilibre et/ou la référence au produit de solubilité sans commentaire ou parfois de manière erronée, (« *Sa constante de solubilité variant avec le pH, la constante de solubilité de l'acide benzoïque est faible en milieu acide* »)
- la référence à l'espèce acide benzoïque en terme de forme prédominante, d'espèce majoritaire du couple en milieu acide (« *En acidifiant on est dans le domaine de prédominance de $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ qui précipite* » ou bien « *$\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$ est la base conjuguée de l'acide $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$, en faisant réagir cette base sur un acide plus fort on obtient $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ »).*

Dans la catégorie B « phénoménographie », qui est le registre majoritairement mobilisé (60 %) ont été classées les réponses qui prennent seulement en compte la transformation de l'ion benzoate en acide benzoïque, souvent représentée par l'équation $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-_{\text{aq}} + \text{H}^+_{\text{aq}} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}_{(\text{s})}$, ou qui mettent en œuvre des connaissances diverses concernant la cristallisation de l'acide benzoïque : insoluble, liaison hydrogène, produit organique, etc. Par exemple la formulation « *L'ion benzoate $\text{C}_6\text{H}_5\text{-COO}^-$ soluble en solution aqueuse. Ajout de HCl concentré \Rightarrow formation de l'acide benzoïque, insoluble dans H_2O \Rightarrow précipitation de $\text{C}_6\text{H}_5\text{-COOH}$ »), bien qu'elle corresponde à un raisonnement cohérent, ne fait référence à aucun formalisme du concept d'équilibre chimique et il semble que pour l'étudiant cette transformation est totale.*

On doit noter qu'un quart des étudiants ne donne pas de réponse.

3.2.2 Sous question 3b

Dans le tableau 1 sont reportés les pourcentages de réponses aux questions nécessitant un choix : 3b, 4 et 5 (les réponses ont été regroupées en 4 types de réponses) ainsi que les pourcentages des différents registres de discours utilisés dans la justification des réponses.

Le tableau 1 montre que parmi les 40 % d'étudiants qui répondent correctement à la question 3b, aucun ne donne une explication dans le registre « phénoménologie » du concept d'équilibre chimique (A1). Il semble qu'ils se focalisent sur la température sans prendre en compte le caractère acido-basique du milieu. La majorité d'entre eux, soit 25 % des étudiants, donne une explication dans le registre « phénoménographie » (B), par exemple : « *Il n'y a pas d'ions hydrogènes et par conséquent pas de réaction* » ou « *la température va bloquer la précipitation de l'acide benzoïque* ». 6 % utilisent le registre « formalisme » du concept d'équilibre chimique (A2), par exemple « *Milieu basique, prédominance d'espèce basique $C_6H_5-COO^-$, la base conjuguée de l'acide benzoïque* » et 9 % ne donnent pas de justification.

Parmi les étudiants qui ne répondent pas correctement à cette question (25 %), 4 % utilisent le registre A2 (« *Le K_s est fonction de la température $d \ln K_s / dT = \Delta H / RT^2$* »), 14 % le registre B (« *$C_6H_5-COO^- + H_2O(0^\circ C) \rightarrow C_6H_5-COOH + HO^-$, moins soluble dans l'eau froide, précipitation* » ou « *En refroidissant la solution, C_6H_5-COOH va précipiter car il est peu soluble dans l'eau froide* ») et 7 % ne donnent pas de justification.

Pour cette question le registre favori de réponse est le registre B (39 %) pour les étudiants qui ont donné une justification (49 %). Il paraît intéressant de signaler que pendant l'étude préliminaire destinée à valider le questionnaire, il est ressorti des discussions au laboratoire que les étudiants n'étaient pas capables de justifier les actions décrites dans le protocole opératoire de la synthèse de l'acide benzoïque (chauffer, acidifier, refroidir) en utilisant le concept d'équilibre. Les actions de chauffage et de refroidissement étaient prises en compte seulement comme des facteurs cinétiques (la température est « *un catalyseur qui permet à la réaction de se produire plus rapidement* »). Nous constatons que la confusion consistant à assimiler une grandeur, la température, à une espèce chimique, le catalyseur, qui est couramment rencontrée chez les élèves est aussi présente chez les futurs enseignants. L'action d'acidification était expliquée en utilisant le registre B (« *Les ions hydrogène introduits réagissent avec les ions benzoate pour donner l'acide benzoïque* »).

L'analyse statistique par tri croisé montre une forte corrélation statistiquement significative ($p=0,01$) entre les registres utilisés pour répondre aux deux questions 3a et 3b; les étudiants sont donc cohérents dans leurs réponses.

Table 1 : Pourcentages des réponses aux questions 3b, 4, 5 (réponse correcte)

Q	Réponse	Non réponse		
3b	oui	non	J.N.S.P.	
	25	40	19	16
	A1 : - ; A2 : 4 ; B : 14 non justifiée 7	A1 : - ; A2 : 6 ; B : 25 non justifiée 9		
4	oui	non	J.N.S.P.	
	74	18	5	3
	A1 : 70 ; A2 : - ; B : 3 non justifiée 1	A1 : - ; A2 : 10 ; B : 5 non justifiée 3		
5	tous les points	certaines points	zone	aucun point
	19	57	5	2 17
	A1 : 10 ; A2 : - ; B : - non justifiée 9	A1 : - ; A2 : 33 ; B : 14 non justifiée 10	A1 : - ; A2 : 3 ; B : 2	B : 2

3.3 Aspect dynamique de l'état d'équilibre (questions 4 et 5)

3.3.1 Question 4

Le tableau 1 montre que 74 % des étudiants ont répondu correctement à la question 4 et que 70 % ont utilisé le registre A1 pour justifier leur réponse. Cependant, cette question demandant explicitement si des réactions se produisent dans une solution d'acide éthanoïque (acétique) bien qu'aucune interaction chimique ne soit décrite, situation classiquement utilisée pour introduire le concept d'équilibre chimique en terminale, pose un problème à 26 % des étudiants. Pour les étudiants qui justifient leur réponse dans le registre de discours A1, un cinquième prend en considération l'existence des deux équilibres qui se produisent dans le système (« *Toutes les réactions des équilibres $CH_3COOH + H_2O = CH_3COO^- + H_3O^+$, $2H_2O = H_3O^+ + HO^-$ ont tout le temps lieu, dans les deux sens* »). Les autres mentionnent uniquement l'équilibre d'ionisation de l'acide éthanoïque (« *L'équilibre $CH_3COOH + H_2O = CH_3COO^- + H_3O^+$ est la compétition entre deux réactions inverses* ») en oubliant l'équilibre d'auto-ionisation de l'eau. On retrouve là une tendance déjà signalée par Banerjee (1991) et Demerouti *et al.* (2004) pour les équilibres en solution aqueuse. Enfin, 3 % justifient leur réponse simplement en parlant de réaction chimique (registre B) (« *L'acide acétique réagit avec l'eau/ les ions HO^- de l'eau* »).

10 % des étudiants, qui ne répondent pas correctement à la question, utilisent le registre A2 pour justifier leur réponse en considérant que la transformation est terminée, sans prendre en considération l'aspect dynamique de l'état d'équilibre, à savoir que les deux réactions inverses ont lieu (« *Il s'agit d'un équilibre acido-basique déjà établi $CH_3COOH + H_2O = CH_3COO^- + H_3O^+$, il ne peut y avoir de réaction* ») et 5 % le registre B (« *car l'acide acétique ne réagit pas avec l'oxygène de l'air* » ou « *Il n'y a qu'un réactif* »).

3.3.2 Question 5

La situation présentée dans la question 5 est également une situation rencontrée depuis le lycée : la courbe de dosage de l'acide éthanóique par une solution d'hydroxyde de sodium. Cette courbe est généralement utilisée comme « outil » pour la réalisation d'un dosage mais les étudiants du CAPES devraient être capables de tracer théoriquement n'importe quelle courbe d'évolution du pH en fonction du volume de titrant pour n'importe quel dosage acide-base en se référant à l'évolution de la variable avancement de la réaction lors du dosage, réaction symbolisée ici par l'équation $CH_3COOH_{aq} + HO^-_{aq} = CH_3COO^-_{aq} + H_2O$. Cependant, le tableau 1 montre qu'une large majorité d'étudiants (64 %) ne répond pas à cette question correctement et 17 % ne donnent pas de réponse. Il semble que ces étudiants n'ont pas compris que tous les points de la courbe de dosage de l'acide faible correspondent à des états d'équilibre obtenus par des états d'équilibre successifs. On peut attribuer ce taux élevé de réponses incorrectes à l'expression « réaction de dosage/titrage » couramment utilisée dans l'enseignement (et dans les ouvrages). En effet, si en établissant l'équation de la courbe de titrage il est fait constamment référence à une seule réaction chimique, on occulte complètement l'aspect état d'équilibre chimique. De plus lorsqu'on fait le bilan matière, on considère chaque transformation chimique représentée par cette équation de réaction comme totale et les enseignants passent peu de temps sur les raisons pour lesquelles on peut représenter l'évolution du pH de la solution en fonction de l'avancement de la réaction en utilisant l'expression $pH = pK_a + \log B/A$.

Parmi les étudiants qui ont répondu correctement à cette question, 10 % utilisent le registre A1 pour justifier leur réponse (« *Tous les points correspondent à des équilibres chimiques. Seulement, par ajout de titrant, on déplace l'équilibre acido-basique de l'acide acétique*») et ils sont 9 % à ne donner aucune justification.

Parmi les étudiants qui ne donnent pas de réponse correcte, la majorité (57 %) se focalise sur des points particuliers de la courbe étudiés lors des travaux pratiques : en particulier la demi-équivalence et le point d'équivalence. 33 % des étudiants utilisent le registre A2 pour justifier leur réponse en termes de diverses notions ou équations liés aux équilibres acido-basiques et de

relation d'égalité $\text{pH} = \text{pKa}$: « Au point de E/2 car on a une solution tampon \rightarrow équilibre acido-basique entre acide et base conjuguée du couple »; « Au point E /2 : $\text{AH} + \text{H}_2\text{O} = \text{A}^- + \text{H}_3\text{O}^+$, au point E : $\text{A}^- + \text{H}_2\text{O} = \text{AH} + \text{HO}^-$ »; « À l'équivalence. On a atteint un équilibre acide base, si non, en dehors de ce point, il n'y a pas d'équilibre, c'est un dosage ». 14 % justifient leur réponse en utilisant le registre B, leurs arguments faisant état d'une égalité, (des concentrations, des quantités de matière, des quantités) accompagné de l'écriture d'une équation de réaction : « A E/2 on a égalité de concentrations acide faible et base faible, exemple acide acétique $[\text{CH}_3\text{COOH}] = [\text{CH}_3\text{COO}^-]$ »; « le point E correspond à un état d'équilibre car le nombre de mole d'acide consommé est égale au nombre de mole de base ajouté; E/2 et E. On a ajouté une quantité de base égale à la moitié de la quantité d'acide initiale ; on a ajouté autant de base qu'il y avait d'acide de départ, $\text{AH} + \text{HO}^- \rightarrow \text{A}^- + \text{H}_2\text{O}$ ».

10 % des étudiants ne donnent aucune justification.

Les étudiants qui ont choisi le type de réponse « zone » (5 %) justifient leur réponse en utilisant le registre A2 (3 %) (« C'est une réaction totale, on n'a pas d'équilibre. Après le point d'équivalence, on a $\text{A}^- + \text{H}_2\text{O} = \text{AH} + \text{HO}^-$ ») ou le registre B (« Tous les points après le point d'équivalence. Avant le point d'équivalence on a la réaction $\text{AH} + \text{HO}^- \rightarrow \text{A}^- + \text{H}_2\text{O}$ »). Les étudiants qui répondent « aucun point » justifient leur réponse dans le registre B (« C'est une réaction de dosage, elle est donc totale et ne conduit pas à un équilibre ») ou « pas d'état d'équilibre ; dosage = réaction totale $\text{AH} + \text{B}^- \rightarrow \text{BH} + \text{A}^-$ »). Nous retrouvons l'idée de découpage de la courbe en parties signalée par les auteurs cités dans l'introduction.

Indépendamment du registre de connaissance mobilisé, nous notons que l'argument d'égalité (des quantités, des concentrations, des quantités de matière ou de pH à pK_a) a été utilisé par la moitié des étudiants qui ont justifié leur réponse. Nous retrouvons là les résultats d'autres recherches au sujet des équilibres chimiques (par exemple Hackling & Garnett, 1985 ou Ouertatani & Dumon, 2008). Nous constatons également que la majorité des étudiants, en maîtrisant mal le point de vue qualitatif de ce qui se passe dans le milieu (états d'équilibres successifs), se réfugie dans une lecture de la courbe et des éléments liés au caractère outil de celle-ci et que pour certains d'entre eux, comme l'aspect quantitatif du dosage nécessite une transformation dite totale, il ne peut exister un état d'équilibre chimique. Dans cette situation, c'est plutôt la conception globale et statique des phénomènes chimiques qui émerge chez beaucoup d'étudiants en occultant l'aspect d'état d'équilibre chimique.

Suite à l'analyse statistique « tri croisé », nous observons ici aussi une corrélation statistiquement significative ($p=0,01$) entre les registres utilisés pour répondre aux questions 4 et 5.

4. Discussion

Dans le tableau 2 ont été reportés les pourcentages des registres de discours préférentiellement utilisés pour répondre aux différentes questions. Pour les questions 1 et 2 où aucune justification n'était demandée les registres de discours A1 et A2 ne peuvent être différenciés, le pourcentage reporté dans le registre A1-A2 correspond au pourcentage de réponses correctes à l'item e, puisque la conceptualisation de l'équilibre chimique implique la prise en compte de la participation des entités constitutives des solutions aux transformations se produisant dans le système chimique. Les items b et d correspondant au registre de la phénoménographie, ce sont les pourcentages de cohérence entre ces deux items pour chaque question qui ont été reportés dans le registre de réponse B.

Table 2 : Pourcentage des registres de discours utilisés pour répondre aux questions

Question – Situation expérimentale	Registre de discours			Non justifiée	Non réponse
	A1	A2	B		
1 utilisation des solutions tampon	17		36		
2 utilisation d'indicateurs colorés	34		40		
3a synthèse de l'acide benzoïque	4	12	60		24
3b synthèse de l'acide benzoïque	–	10	39	35	16
4 solution d'acide acétique	70	10	8	9	3
5 dosage d'acide faible	10	36	18	19	17

Dans le cas des indicateurs colorés et des solutions tampon, les faibles pourcentages observés pour le fonctionnement des solutions (A1-A2) et le relativement faible degré de cohérence entre les réponses aux questions concernant quantité et concentration peuvent s'expliquer par le fait que les étudiants ne se sont jamais posés les questions abordées par les items b, d, et e. Certes, lors de la préparation à l'épreuve de montage du CAPES il est demandé aux étudiants de préciser les concentrations des solutions qu'ils désirent utiliser, mais ils sont peu nombreux à le faire lorsqu'ils demandent « de la phénolphthaléine » ou une « solution tampon de pH 10 ». Les documents qui leur ont été donnés jusque là en TP se focalisent sur les aspects techniques, ne signalent jamais la concentration de ces solutions et ne mentionnent que rarement (sans l'expliquer) la quantité de ces solutions à utiliser (« quelques gouttes d'indicateur » ou « x mL de solution tampon »). Cette absence d'interrogation à propos de la composition de telles solutions et certaines conceptions à leur sujet sont apparues lors de l'interview d'étudiants durant

l'étude préliminaire en situation expérimentale : « *on utilise les solutions qui sont sur la paillasse sans réfléchir à elles* » ; « *une solution tampon n'a pas de concentration* » ; « *les espèces constitutives d'une solution tampon sont des espèces spectatrices, elles ne participent pas aux réactions* ».

Pour l'interprétation des actions mises en jeu dans un protocole expérimental (questions 3a et 3b) on constate, soit une mobilisation du registre de la phénoménographie par une proportion importante d'étudiants (60 %, 3a), soit une préférence pour ce registre (39 %) accompagnée d'un pourcentage de non réponse et de non justification voisin de 50 % (3b). On peut déduire de ces résultats que le concept d'équilibre chimique acide-base n'est pas devenu opérant pour de nombreux étudiants dans le cas où il faut interpréter ou prévoir les conséquences d'une action.

Les questions 4 et 5 sont toutes les deux en rapport avec l'aspect dynamique de l'état d'équilibre. Toutefois les étudiants ne réussissent pas de la même façon dans leurs interprétations des deux situations. L'aspect dynamique de l'état d'équilibre est reconnu par une large majorité dans une situation utilisée à plusieurs reprises comme « objet » d'étude dans la partie du programme concernant les équilibres acide-base alors qu'il n'est pas pris en compte pour une situation expérimentale mettant en jeu une réaction de titrage souvent réalisée au laboratoire en tant qu'« outil ». Nous retrouvons certaines des conceptions relatives au courbes de suivi pH-métrique d'un dosage déjà signalées par d'autres auteurs (Naija, 2004 ; Sheppard, 2006) : rôle privilégié attribué à certains points de la courbe ou découpage de la courbe en différentes zones. Cette difficulté à percevoir ce qui se cache derrière la courbe de pH met en évidence que la relation entre théorie et pratique reste faible. Pour Gussarsky et Gorodetsky (1990) la difficulté à conceptualiser l'aspect dynamique des équilibres chimiques résulte de l'attribution des propriétés macroscopiques des systèmes en équilibre (systèmes stables dont la composition ne varie pas) au niveau des entités microscopiques. Nos résultats montrent que même si les étudiants connaissent le comportement non statique des entités microscopiques à l'équilibre (question 4, situation ayant un statut d'objet d'étude), ils ne sont pas capables de transférer cette connaissance pour interpréter un titrage acide-base en termes d'équilibre entre entités réagissant (question 5, l'aspect dynamique de l'état d'équilibre en chaque point de courbe). Sur cette question précise, les résultats montrent que l'intégration conceptuelle de l'aspect dynamique des équilibres chimiques pose problème pour les apprenants, trente ans après les premières études sur ce sujet (Johnstone *et al.*, 1977).

On constate à la lecture du tableau 1 que la mobilisation du registre A1 conduit les étudiants à donner une réponse correcte aux questions 4 et 5. On peut donc dire que dans ce cas l'intégration conceptuelle est réalisée et le savoir est opérant. L'utilisation des registre A2 ou B conduit, suivant les cas,

à des réponses correctes (question 3b) ou erronées (questions 3b, 4 et 5). Suivant leur nature (formalisme ou phénoménographie), les savoirs mobilisés peuvent être considérés comme fonctionnels face à certaines situations, ils ne sont en aucun cas opérants et à la lecture des justifications fournies on peut en conclure que l'intégration du concept d'équilibre acide-base n'est que très partielle ou pas réalisée du tout.

L'analyse statistique de type tri croisé montre qu'il y a une cohérence des réponses des étudiants pour les questions 1 et 2, 3a et 3b, 4 et 5 avec une corrélation significative ($p=0,01$). Cependant l'analyse de type ACM met en évidence qu'ils n'utilisent pas systématiquement le même registre pour répondre aux différentes questions.

5. Conclusion

Dans ce travail, l'intégration conceptuelle des équilibres acide-base par les futurs enseignants a été évaluée en étudiant la mobilisation et l'utilisation des savoirs relatifs au concept d'équilibre chimique pour interpréter diverses situations expérimentales ou prévoir la conséquence d'une action.

De façon générale une minorité d'étudiants utilise le concept d'équilibre chimique pour l'interprétation de phénomènes chimiques mettant en jeu des équilibres acide-base. Généralement le registre de discours le plus mobilisé est le registre de la « phénoménographie » (B), c'est-à-dire que de nombreux étudiants utilisent d'autres concepts et notions que celui d'équilibre chimique. Certains utilisent parfois le formalisme du concept d'équilibre chimique (A2) sans que l'on puisse être assuré du sens qu'ils lui donnent en relation avec le champ empirique de référence proposé. Les connaissances théoriques semblent ainsi partiellement dissociées des connaissances expérimentales. Les justifications fournies mettent en évidence la prégnance de la conceptualisation d'un phénomène chimique consistant en une transformation totale traduite sous la forme d'une équation de réaction, ce qui conduit les étudiants à contourner le raisonnement prenant en considération le concept d'équilibre chimique. Enfin, la maîtrise de l'aspect dynamique du concept d'équilibre chimique diffère suivant que la situation expérimentale a été objet d'étude (question 4) ou consiste en une situation « outil » à des fins opérationnelles (question 5). Cela montre que de nombreux étudiants, en fin d'étude universitaire, n'arrivent toujours pas à la décontextualisation d'un concept par rapport aux situations expérimentales, toujours simples et purifiées, qui servent à le construire (Astolfi *et al.*, 1997).

Les résultats de cette étude descriptive mettent en évidence que, quel que soit le référent empirique utilisé, l'intégration conceptuelle des équilibres

acide-base reste faible et que le savoir relatif à ces équilibres n'est devenu ni opérant ni fonctionnel pour de nombreux futurs enseignants. De notre point de vue ces résultats peuvent être partiellement expliqués par le fait que l'enseignement scientifique ne promeut généralement pas le raisonnement conceptuel (Quilez, 2006) et la mise en relation du champ empirique avec le monde des théories et modèles (la matrice cognitive) (Ouertatani & Dumon, 2008 ; Le Maréchal & Naija, 2008). Les situations expérimentales utilisées en TP n'étant pas revisitées et re-questionnées à l'aide du concept d'équilibre acide-base, les connaissances théoriques restent déconnectées des connaissances expérimentales. Ces situations ne sont pas toujours explorées systématiquement comme champs de validité des constructions conceptuelles pour en éprouver la pertinence et l'efficacité ou étendre les applications. Ce serait pourtant le rôle de l'enseignement scientifique de faciliter l'intégration conceptuelle à l'aide d'activités de structuration.

Bibliographie

- ASTOLFI J.-P. (1992). *L'école pour apprendre*. Paris : ESF.
- ASTOLFI J.-P., DAROT E., GINSBURGER-VOGEL Y. & TOUSSAINT J. (1997). *Mots-clés de la didactique des sciences*. Bruxelles : De Boeck Université
- BANERJEE A.C. (1991). Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, vol. 3, n° 4, p. 87-94.
- BESSON M.-A. (1994). Les acides et les bases : substances ou solutions ? Un obstacle à la prise en compte des équilibres en solution aqueuse. *Actes du 4^e séminaire de didactique des sciences physiques*. Amiens.
- CAMACHO M. & GOOD R. (1989). Problem solving and chemical equilibrium : successful versus unsuccessful performance. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 26, p. 251-272.
- DEMEROUTI M., KOUSATHANA M. & TSAPARLIS G. (2004). Acid-base equilibria. Part I. Upper secondary students' misconceptions and difficulties. *The Chemical Educator*, vol. 9, p. 122-131.
- DOUADY R. (1986). Jeux de cadres et dialectique outil-objet. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 7, n° 2, p. 5-31.
- GIORDAN A. & DEVECHI G. (1987). *Les origines du Savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Neuchâtel : Delachaux & Niestlé.
- GOFFARD M. (1993). Réflexions post-bac. *Bulletin de l'Union des physiciens*, n° 759, p. 1593-1604.
- GUSSARSKY E. & GORODETSKY M. (1990). On the concept "chemical equilibrium": the associative framework. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 27, p. 197-204.
- HACKLING M.-W. & GARNETT P.-J. (1985). Misconceptions of chemical equilibrium. *European Journal of Science Education*, vol. 7, p. 205-214.
- JOHNSTONE A.-H., MACDONALD J.-J. & WEBB G. (1977). Chemical equilibrium and its conceptual difficulties. *Education in Chemistry*, 14, p.169-171.
- KUHN T. (1970). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion, 1983.

- LE MARECHAL, J-F. & NAIJA R. (2008). La mesure dans l'enseignement de la chimie. *Aster*, n° 47, p. 103-130.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris : Hachette.
- MARTINAND J-L. (1992). Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences. Paris, INRP/LIREST.
- MARTINAND J-L. (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en science*. Paris : INRP/LIREST.
- MARTINAND J.L. (1995). Introduction à la modélisation, in *Didactiques des disciplines techniques*, (p. 126-138), LIREST, Cachan 1994-95.
- MEYER R. & DOUSSET J. (1988). Un équilibre très instable. *Bulletin de l'Union des physiciens*, n° 708, p. 1211-1220.
- NAIJA R., (2004). Apprentissage des réactions acido-basiques : mise en évidence et remédiation des difficultés des étudiants lors d'une séquence d'enseignement expérimental. Thèse, université Lumière-Lyon 2.
- NAKHLEH M-B. (1994). Students' Models of matter in the context of acid-base chemistry. *Journal of Chemical Education*, vol. 71, p. 495-99
- NAKHLEH M-B. & KRAJCIK J-S. (1993). A protocol analysis of the influence of technology on students' actions, verbal commentary, and through process during the performance of acide-base titrations. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 30, p. 1149-1168.
- ORANGE C. (1997). Problèmes et problématisation en biologie. Quels apprentissages pour le lycée ? Paris : PUF.
- OUERTATANI L. & DUMON A. (2008). L'appropriation des « objets de savoir » relatifs aux titrages acide base par les élèves et les étudiants tunisiens. *Didaskalia*, n° 32, p. 9-39.
- QUILEZ J. (2006). From chemical forces to chemical rates : a historical/philosophical foundation for the teaching of the chemical équilibrisme. *Science & Education (on line)*
- RABIER A., VENTURINI P. & TERRISSE A. (2001). Étude didactique sur l'utilisation des modèles d'acido-basicité par les étudiants et les élèves de terminales. In *Skholé*, numéro hors-série, IUFM de Marseille.
- SHEPPARD K., (2006). High school students' understanding of titrations and related acid-base phenomena. *Chemistry Education: Research and Practice*, vol. 7, p. 32-45.
- TABER K.S. (2005). Conceptual integration and science learners – do we expect too much? *Invited seminar paper presented at the Centre for Studies in Science and Mathematics Education*, University of Leeds, February 2005

ANNEXE : LE QUESTIONNAIRE

1. Dans certaines expériences on utilise une solution tampon.

- a) Son rôle est de maintenir le pH à une valeur particulière
 Vrai Faux Je ne sais pas
- b) La quantité de solution tampon introduite est sans importance
 Vrai Faux Je ne sais pas
- c) Quelques gouttes suffisent pour assurer son rôle
 Vrai Faux Je ne sais pas
- d) La concentration de la solution utilisée est sans importance
 Vrai Faux Je ne sais pas
- e) Les entités constitutives d'une solution tampon sont des espèces spectatrices
 toujours parfois jamais je ne sais pas

2. Dans une expérience de dosage acide-base on utilise un indicateur coloré.

- a) Son rôle est de mettre en évidence le point d'équivalence
 Vrai Faux Je ne sais pas
- b) La quantité de solution d'indicateur coloré introduite est sans importance
 Vrai Faux Je ne sais pas
- c) Quelques gouttes suffisent pour assurer son rôle
 Vrai Faux Je ne sais pas
- d) La concentration d'une solution d'indicateur coloré est sans importance
 Vrai Faux Je ne sais pas
- e) Les entités constitutives d'une solution d'indicateur coloré sont des espèces spectatrices
 toujours parfois jamais Je ne sais pas

3.a Lors de la synthèse de l'acide benzoïque par oxydation de l'alcool benzylique en milieu basique on a obtenu l'ion benzoate ($C_6H_5-COO^-$) en solution aqueuse. Pour obtenir l'acide benzoïque (C_6H_5-COOH) cristallisé, on ajoute de l'acide chlorhydrique concentré.

Comment interprétez-vous la précipitation de l'acide benzoïque par acidification de la solution ?

3.b Si au lieu d'ajouter de l'acide chlorhydrique on refroidissait la solution dans la glace pilée, obtiendrait-on la précipitation de l'acide benzoïque ?

(l'acide benzoïque est moins soluble dans l'eau froide que dans l'eau chaude)

- oui non je ne sais pas

Justifiez votre réponse.

4. Dans un bécher on a mis une solution aqueuse d'acide acétique. Est-ce qu'il y a des réactions qui se produisent dans la solution ?

- oui non je ne sais pas

Justifiez votre réponse

5. En effectuant le dosage d'un acide faible par une base forte on obtient la courbe ci-jointe.

Quels sont les points de cette courbe qui correspondent à des états d'équilibre chimique ?

Justifiez votre réponse.

