

UNIVERSITE LUMIERE LYON 2
Thèse Pour obtenir le grade de DOCTEUR DE L'UNIVERSITE LUMIERE LYON 2
en Sciences de l'Education

Rym NAIJA

***Apprentissage des réactions
acido-basiques : Mise en évidence et
remédiation des difficultés des étudiants
lors d'une séquence d'enseignement
expérimental***

Préparée sous la direction de M. Jean-François LE MARECHAL et Mme Malika
TRABELSI –AYADI
au sein de l'équipe ADIS Groupe COAST - UMR-ICAR 5191 (CNRS- Université Lyon2, ENS-Lyon,
ENS-LSH, INRP)

Jury M. Alain DUMON Rapporteur M. Manef ABDERRABBA Rapporteur M. Jean-François LE
MARECHAL Directeur Mme Malika TRABELSI-AYADI Directeur

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| RESUME . | 1 |
| Introduction . . | 3 |
| Organisation de la thèse . . | 5 |
| PARTIE A : CADRE THEORIQUE . | 7 |
| Chapitre 1 . Aspects théoriques . | 7 |
| I. Revue des travaux sur les difficultés ¹ d'enseignement-apprentissage du concept de réaction chimique . | 7 |
| II. Revue des travaux sur les difficultés d'enseignement-apprentissage des concepts d'acides et des bases . . | 13 |
| III. Modélisation dans l'enseignement des sciences . | 15 |
| IV. Fonctionnement cognitif de l'apprenant . | 22 |
| V. Situations d'apprentissage . | 22 |
| VI. Synthèse . | 25 |
| VII. Hypothèses et questions de recherche . . | 25 |
| Chapitre 2. Analyse du savoir savant . | 26 |
| I. Définition des acides et des bases et couples acidobasiques . | 26 |
| II. Définition du système solvant . | 27 |
| III. Savoir à enseigner . | 27 |
| PARTIE B : Méthodologies d'analyse . . | 29 |
| Chapitre 1. Construction de la séquence . | 29 |
| I. Etudes antérieures . | 30 |
| II. Différents types d'hypothèses de construction de la séquence . . | 31 |
| III. Description de la séquence . | 36 |
| IV. Conclusion . | 38 |
| Chapitre 2. Méthodologies de recueil et d'analyse des données . | 38 |
| I. Elaboration des TP . . | 39 |

¹ Selon SÉJOURNÉ (2001), le terme difficulté est pris dans le sens où l'on considère qu'un concept est délicat à "comprendre" et à construire par l'élève.

| | |
|---|------------|
| II. Méthode de recueil de données . | 52 |
| III. Méthode d'analyse des données recueillies . . | 53 |
| Chapitre 3. Analyse <i>a priori</i> des 3 séances de TP . | 66 |
| I. Analyse <i>a priori</i> du TP1 . | 67 |
| II. Analyse <i>a priori</i> du TP2 . | 84 |
| III. Analyse <i>a priori</i> du TP3 . | 96 |
| IV. Synthèse . | 106 |
| PARTIE C : RESULTATS ET DISCUSSIONS . . | 109 |
| Chapitre 1. Analyse du TP1 : « DOSAGE pH- METRIQUE ET COMPARAISON DES COURBES DE DOSAGE » . . | 109 |
| I. Texte du TP1 (Nouvelle version) . | 109 |
| II. Connaissances en jeu dans le TP1 . . | 128 |
| III. Résultats concernant la comparaison des productions écrites . . | 129 |
| IV. Conclusion . | 154 |
| Chapitre 2. Comparaison entre dosage pH-métrique et dosage conductimétrique . | 155 |
| I. Description du TP « Notion du dosage » . . | 155 |
| II. Comparaison des productions verbales . | 156 |
| III. Comparaison des productions écrites . | 162 |
| IV. Conclusion . | 170 |
| Chapitre 3. Analyse du TP2: "DOSAGE DE POLYACIDES " . | 171 |
| I. Texte du TP2 (Nouvelle version) . | 171 |
| II. Connaissances en jeu dans le TP2 . . | 189 |
| III. Résultats concernant la comparaison des productions écrites . . | 190 |
| IV. Conclusion . | 218 |
| Chapitre 4. Analyse du TP3 : « DOSAGE D'UNE DIBASE ET D'UN MELANGE DE BASE » . . | 219 |
| I. Texte du TP3 (nouvelle version) . | 220 |
| II. Connaissances en jeu dans le TP3 . . | 235 |
| III. Résultats des productions écrites et verbales . | 236 |
| IV. Conclusion . | 262 |

| | |
|--------------------------------------|------------|
| Conclusion générale . . | 265 |
| Références bibliographiques . | 269 |

RESUME

Notre travail de thèse porte sur « Apprentissage des réactions acido-basiques : mise en évidence et remédiation des difficultés des étudiants lors d'une séquence d'enseignement expérimental ». Ce travail a donné lieu à la mise en place d'un cadre théorique permettant d'analyser le fonctionnement cognitif des étudiants au cours de la modélisation. Ce cadre repose essentiellement sur trois axes principaux : l'activité de modélisation, le fonctionnement cognitif de l'apprenant et la théorie des situations.

L'analyse des textes de TP a montré que les thèmes ainsi que la structure du travail demandé fait appel à une faible variété d'activités cognitives. Dans le but d'optimiser une telle pratique d'enseignement, nous avons proposé des textes mettant en jeu les savoirs auxquels les étudiants allaient être confrontés dans différents dosages acido-basiques.

La méthodologie d'analyse utilise deux types d'approches : nous avons choisi d'étudier, en premier lieu, les productions écrites des étudiants et de mettre en évidence la différence d'activité cognitive des étudiants entre les deux formules de TP. En deuxième lieu, nous avons complété notre analyse par une étude de cas permettant de décrire le fonctionnement cognitif des apprenants au cours des différentes activités que nous avons proposées. L'analyse des données recueillies a montré que, la structuration selon les différents niveaux de connaissances des contenus de chaque tâche, semble être pertinente pour la réflexion des étudiants sur le système réactionnel mis en jeu. Leurs difficultés dans le domaine d'acido-basicité proviennent en partie de la compréhension partielle qu'ils ont du concept de réaction chimique.

Mots clés : didactique, réactions acido-basiques, TP, 1^{er} cycle universitaire, activités de modélisation, apprentissage.

Introduction

L'enseignement d'une discipline expérimentale comme la chimie s'appuie traditionnellement, pour partie, sur des séances de travaux pratiques dont les thèmes ainsi que la structure du travail demandé fait appel à une faible variété d'activités cognitives (TIBERGHIEU, 2001 ; MILLAR, 1998). Considérant le coût d'un tel enseignement qui nécessite des laboratoires équipés ne pouvant recevoir que peu d'étudiants à la fois, il semble essentiel de se poser la question de la pertinence d'un tel investissement de la part des institutions. Dans le cas de l'université de Bizerte, les premiers TP de chimie concernent l'étude des acides et des bases dont l'organisation apparaît temporellement déconnectée de l'enseignement magistral correspondant qui ne s'effectue pas pendant le même semestre. Les étudiants doivent donc disposer d'une certaine autonomie sur la gestion des savoirs mis en jeu et se référer à ce qu'ils ont appris au lycée. Dans le but d'optimiser une telle pratique, nous avons défini un programme de recherche dont cette thèse se fait l'écho. Nous avons analysé les savoirs mis en jeu dans ces séances de TP et, moyennant certaines contraintes concernant la longueur de ces TP, les expériences mises en jeu, etc., nous avons proposé des textes mettant différemment en jeu les savoirs auxquels les étudiants allaient être confrontés. Notre travail de recherche a constitué à mettre en évidence la différence d'activité cognitive des étudiants entre les deux formules de TP.

Une de nos hypothèses fut de considérer la difficulté de l'apprentissage de la réaction chimique largement documentée dans la littérature de recherche en didactique. Les travaux de STAVRIDOU & SOLOMONIDOU (1998) ont montré que la construction du concept de réaction chimique avance par stades successifs en interaction avec l'appropriation

d'autres concepts comme le changement d'état. LAUGIER & DUMON (2000) ont montré que les difficultés des élèves au niveau de la représentation du concept de réaction chimique par l'équation-bilan dans les registres macroscopiques et microscopiques, se traduit par l'incapacité des élèves à utiliser correctement le registre symbolique.

Concernant les difficultés des apprenants liées aux concepts d'acides et de bases, SCHMIDT (1991) a souligné que les difficultés des apprenants face au concept de neutralisation provient principalement d'une inférence due au vocabulaire. Par ailleurs, SCHMIDT (1995) s'est intéressé à la notion de couple acide/base, en montrant que les élèves confondent les paires d'acide-base non conjuguées et conjuguées.

L'enseignement expérimental de la chimie est généralement soit calcul-orienté, soit concept-orienté. Il est rarement les deux à la fois. Dans le domaine calculatoire, l'enseignement s'oriente souvent vers les calculs de : concentrations, dosages, constantes d'équilibre, etc., alors qu'au niveau conceptuel, nous trouvons les notions de : réaction chimique, couple, déplacement d'équilibre, etc.

Le domaine de l'acidité est intéressant car dans de nombreuses situations, deux raisonnements sont possibles :

- Utiliser un outil très formel, à partir d'équations mathématiques (électroneutralité, conservation, constantes d'équilibre ...). Un tel outil est spécifique d'un cadre de réflexion relatif à l'acido-basicité.
- Utiliser un raisonnement basé sur l'équation chimique. C'est un outil plus général, que l'apprenant connaît depuis plus longtemps, et utilisable également dans d'autres situations.

En situation de TP sur l'acidité, un étudiant est en pleine possession des informations expérimentales concernant la situation qu'il manipule ; ce n'est pas le cas d'un problème dans lequel l'étudiant doit imaginer la situation à partir d'informations forcément partielles, décrites dans le texte du TP. Lors du TP, ce qui est vu par l'étudiant ce sont des objets et des événements relatifs à sa manipulation. Les questions qui lui sont posées concernent généralement la description du système physico-chimique et des calculs à faire. Il peut également être en situation où il doit prédire ce qui va se passer. Cette demande d'interprétation ou de prédiction nécessite une phase de modélisation. Cette modélisation peut être dominée par l'une des deux formes de réflexion décrite ci-dessus (outil mathématique, ou équation chimique).

Une étude réalisée par DUMON & SOUSSI (1986) sur l'enseignement expérimental de la chimie en premier cycle universitaire, a montré que cet enseignement doit être orienté principalement vers une initiation à la démarche scientifique expérimentale en entraînant les étudiants à la résolution de problèmes, la conception des TP devrait reposer sur une analyse préalable des capacités de l'étudiant que l'enseignant désire développer et que les activités proposées aux étudiants devraient être en accord avec les objectifs pédagogiques.

Suite à des observations de textes de TP dans l'enseignement supérieur à BIZERTE (TUNISIE) dans le domaine acido-basique, nous avons constaté que cet enseignement ne fait pas de référence au concept de réaction chimique, il se limite à un niveau

perceptible et calculatoire. Toutefois, nous avons constaté, à partir des textes de TP, que le protocole expérimental est décrit et justifié d'un point de vue strictement technique et méthodologique. Cette partie expérimentale, en terme de temps consacré, constitue l'essentiel de l'apprentissage. La phase de validation se ramenant, le plus souvent, à la comparaison de quelques résultats isolés en faisant généralement des calculs. En effet, la phase d'analyse de la problématique de la séance est court-circuitée pour introduire l'expérimentation, c'est donc tout le travail de réflexion et de modélisation autour du concept de réaction chimique est supprimée au profit d'une simple superposition d'événements perceptibles et des calculs proposés par l'enseignant.

Peu d'études ont porté sur le fonctionnement cognitif de l'apprenant en jeu pendant la réalisation et l'interprétation d'un dosage acido-basique, nous nous sommes alors intéressés aux difficultés des étudiants relatives à ce domaine d'étude.

Notre objet de recherche s'articule autour de la question suivante : quelles sont les difficultés d'apprentissage des étudiants du 1^{er} cycle universitaire dans une situation d'enseignement expérimental relevant du domaine de l'acido-basicité ?

Pour le besoin de notre recherche, nous avons mis en place une séquence d'enseignement expérimental mettant en œuvre différents dosages acido-basiques afin d'identifier les difficultés des étudiants liées à la compréhension du concept de réaction chimique et d'analyser le fonctionnement cognitif du point de vue des activités de modélisation des apprenants lorsqu'ils sont dans des conditions réelles d'enseignement.

Cette séquence d'enseignement est constituée de trois séances de travaux pratiques (TP). La première séance s'intéresse au dosage pH-métrique et à la comparaison des courbes de dosage. La deuxième activité introduit le dosage des polyacides et la dernière activité porte sur le dosage d'une dibase et d'un mélange de bases.

Cette séquence d'enseignement expérimental a été proposée à des étudiants de 1^{er} cycle universitaire. Nous avons choisi d'étudier les productions écrites des étudiants et de faire une comparaison entre ce qui se faisait avant notre intervention et après. En plus nous avons complété notre analyse par une étude de cas permettant de décrire le fonctionnement cognitif des apprenants au cours des différentes activités.

Notre travail n'étant pas tourné vers l'innovation mais plutôt vers la recherche, notre but est d'améliorer l'apprentissage des réactions acido-basiques pendant une séquence d'enseignement expérimental.

Organisation de la thèse

Le plan de la thèse suit la démarche que nous avons expliquée ci-dessus.

La première partie est consacrée au cadre théorique didactique et à l'analyse du savoir savant, nous permettant de situer notre recherche suivant les différents courants théoriques.

La deuxième partie de notre travail porte sur la méthodologie d'analyse que nous

avons adoptée pour répondre aux questions de recherches préalablement établies. Le premier chapitre de cette partie présente la construction de la séquence d'enseignement. Le second chapitre décrit la méthodologie de recueil et d'analyse des données recueillies. Le troisième chapitre présente l'analyse *a priori* des différentes activités que les étudiants vont réaliser au cours des trois séances de TP.

La dernière partie de ce travail s'articule autour des résultats d'analyses et les discussions. Le premier chapitre porte sur les résultats d'analyses du TP1, le second chapitre s'intéresse à la comparaison entre dosage pH-métrique et dosage conductimétrique, le troisième chapitre présente les résultats d'analyses du TP2 et le dernier chapitre portera sur les résultats d'analyses du TP3.

Enfin, la conclusion nous permettra de dresser l'ensemble des résultats obtenus au cours des différentes analyses et d'apporter des éléments de réponses aux questions de recherche. La portée de ses résultats et la remédiation que nous avons proposé seront discutées dans une perspective générale d'amélioration de l'apprentissage des réactions acido-basiques.

PARTIE A : CADRE THEORIQUE

Chapitre 1 . Aspects théoriques

Ce cadre théorique va nous permettre d'analyser les contenus des trois séances de travaux pratiques dans le but d'identifier les difficultés des apprenants liées à la compréhension du concept de réaction chimique lors de l'apprentissage des notions d'acido-basicité.

Dans cette optique, nous présentons une synthèse des résultats de la littérature concernant les difficultés d'enseignement-apprentissage du concept de réaction chimique ainsi que sur les concepts d'acide-base en relation avec l'activité de modélisation lors de situations d'apprentissage et sur les structures des connaissances des apprenants, afin d'élucider nos propres critères d'analyse de la séquence d'enseignement expérimental.

I. Revue des travaux sur les difficultés ¹ d'enseignement-apprentissage du concept de réaction chimique

¹ Selon SÉJOURNÉ (2001), le terme difficulté est pris dans le sens où l'on considère qu'un concept est délicat à "comprendre" et à construire par l'élève.

Le concept de réaction chimique est central dans l'étude des transformations de la matière. Il constitue un élément constitutif et fondamental en chimie. Cependant, il est difficile à cerner, il renvoie au concept d'espèce chimique (c'est-à-dire corps pur) qui est le pivot central de la réaction chimique.

Nous allons essayer, en premier temps, de cerner quelques-unes des principales difficultés qui perturbent l'acquisition du concept de réaction chimique du point de vue des obstacles à l'apprentissage.

Durant les 20 dernières années, de nombreux travaux dont les plus importants ont été rassemblés par DRIVER (1985), ANDERSSON (1990), NAKHLEH (1992) et plus récemment par FENSHAM (1994) et GARNETT & al. (1995), ont révélé les conceptions² des élèves sur les concepts et les phénomènes chimiques.

Dans la plupart des cas, le but de ces travaux était de comprendre les différentes explications que donnent élèves à propos de la réaction chimique, leurs conceptions sur la structure de la matière et leurs raisonnements sur sa transformation.

Les travaux de recherches ont impliqué des élèves de différents niveaux scolaires et insistent sur la difficulté d'apprentissage du concept de réaction chimique. Les didacticiens se sont intéressés essentiellement à la réaction de combustion s'appuyant sur le fait que les enfants y sont familiarisés dès leur plus jeune âge et que c'est une réaction simple à réaliser.

Selon MÉHEUT (1989), le rapport entre combustible et dioxygène n'est pas installé pour les élèves de collège (11-15 ans) même après enseignement. Elle catégorise le fonctionnement des élèves de la façon suivante :

- Réponses ne mettant pas en œuvre d'invariant : les élèves s'intéressent à la flamme qui est dotée de propriétés : elle produit de la chaleur, transforme les objets à son voisinage et fait disparaître de la matière.
- Réponses mettant en œuvre un invariant : invariance de la masse (la masse prise en compte et celle de l'objet mais sans prendre en compte le dioxygène) et invariance des substances et non des éléments (le bois brûlé est encore du bois, l'alcool brûlé est encore de l'alcool et l'eau obtenue était présente dans le combustible).

MÉHEUT en conclut que, « *les combustions ne sont pas un bon moyen d'introduire la notion de réaction chimique* » (p.1007). Toutefois, elle propose quelques directions de réflexion et d'interventions pédagogiques :

- La combustion des substances organiques conduit à des difficultés, il serait préférable d'étudier la combustion des métaux.
- Les combustions mettant en jeu des gaz sont sources de difficultés.
- La flamme et le feu fascinent les élèves ; ceci les empêche de se centrer sur les espèces chimiques réellement impliquées dans la réaction.

² Selon TIBERGHIE (1994), une conception est un ensemble hypothétique de propositions ou de procédures que le chercheur attribue à l'élève dans le but de rendre compte des conduites de l'élève dans un ensemble de situations données.

- Il y a confusion entre combustion et changement d'état.
Par ailleurs, STAVRIDOU & SOLOMONIDOU (1998) proposent différents stades lors de la construction du concept de réaction chimique en interaction avec l'appropriation d'autres concepts tels que le changement d'état, la dissolution.
- Le premier stade est celui de la phénoménologie à l'idée du changement : la réaction chimique est un événement.
- A ce stade, certains élèves ne considèrent pas la réaction chimique comme un changement mais comme un événement avec des manifestations phénoménologiques par exemple : le changement de couleur. D'autres translatent ces manifestations en un changement des réactifs mais en ignorant complètement le résultat final de chaque transformation.
- Au deuxième stade, il y a réaction chimique quand deux réactifs donnent quelque chose d'autre.
 - L'existence de deux réactifs initiaux : quelques élèves développent des critères personnels pour l'identification de la réaction chimique. Un phénomène de réaction chimique a lieu quand deux réactifs sont présents à l'état initial, alors qu'ils ne parlent pas de réaction chimique en présence d'un seul réactif.
 - Des nouveaux produits qui se forment : d'autres élèves pensent qu'une réaction chimique résulte de la formation d'un nouveau produit mais ils traduisent ce nouveau produit avec des critères du sens commun par exemple : le nouveau produit formé est simplement quelque chose de différent du réactif initial.
- Le troisième stade est celui de la relation entre phénoménologie et structure de la matière.

L'assimilation de certaines idées microscopiques enseignées se manifeste dans les définitions du concept de réaction chimique données par les élèves. Le changement de structure peut être vague et recouvrir plusieurs catégories de phénomène (inter, intra-moléculaire), changement d'état autant que réaction chimique. Les phénomènes chimiques sont assez bien identifiés et font référence aux connaissances de la vie quotidienne comme aux connaissances rencontrées au laboratoire. Cependant, il ne fait pas appel au résultat d'une transformation en termes de formation d'un nouveau produit. Le concept de nouveau produit est fragile, il empêche l'élève d'établir une correspondance entre les concepts du niveau atomique et les concepts du niveau manipulateur.

Cette étude a montré que durant l'enseignement secondaire, les élèves réorganisent leurs domaines conceptuels et construisent le concept de réaction chimique suivant un chemin personnel. La progression des élèves est assez différente de la progression attendue par le programme scolaire.

Les données relatives à l'identification des phénomènes chimiques par les élèves, ont montré que le fonctionnement du concept de la réaction chimique s'améliore avec le

temps. En dépit de ce progrès, plusieurs élèves pensent que lorsque le phénomène est une réaction chimique, il va y avoir deux réactifs dans la situation initiale. Les élèves développent probablement cette conception puisque la majorité des exemples de réactions chimiques présentés dans les manuels scolaires ou dans la pratique scolaire utilisent deux réactifs. L'enseignement de la chimie doit tenir compte de cette conception. Les enseignants et les concepteurs des manuels scolaires doivent présenter et discuter plusieurs variétés d'exemples de réactions chimiques incluant des réactions dont une seule substance est présente à l'état initial.

Une défaillance sérieuse révélée par cette étude intéresse le manque de construction du concept de la substance chimique, qui empêche et perturbe le fonctionnement du concept de réaction chimique.

L'enseignement de la chimie donne aux élèves une opportunité pour la construction du concept de réaction chimique, comme un phénomène pendant lequel la substance initiale est transformée en une nouvelle substance différente de l'initiale. Cependant, une condition nécessaire pour une construction adéquate du concept de la réaction chimique est la construction du concept de substance chimique. Les élèves devraient développer des critères scientifiques pour la découverte de nouvelle formation des produits pour être capable de comprendre s'il y a conservation ou changement de l'identité d'une substance pendant une transformation de la matière. La construction du concept de la substance chimique peut faciliter aussi l'établissement de rapports satisfaisants entre les entités du niveau manipulateur et ceux du niveau atomique.

Une autre étude a été faite par LAUGIER & DUMON (2000) sur la construction d'une représentation de la réaction chimique, dans les registres macroscopique et microscopique, par des élèves en classe de Seconde (15-16 ans). Elle montre que lorsque les élèves sont face à une phénoménologie macroscopique et doivent imaginer une phénoménologie microscopique explicative, ils seront face à de nombreux obstacles. Pour les identifier, la méthodologie de travail de ces deux chercheurs suit deux axes : un axe historique et un axe didactique.

L'étude historique permet de déterminer des familles d'obstacles selon les deux registres macroscopique et microscopique.

Selon le registre macroscopique, les auteurs présentent trois types d'obstacles :

- Obstacle substantialiste : il faut dépasser l'idée que les propriétés des substances sont des éléments doués d'une matérialité.
- Obstacle perceptif : il faut dépasser l'idée de la perturbation par les phénomènes sensibles qui masquent la transformation chimique (au sens de BACHELARD G., 1938).
- Obstacle positiviste : il faut dépasser l'idée que la seule activité permise au chimiste est l'expérience.

De même, selon le registre microscopique, les auteurs présentent deux types d'obstacles :

- Obstacle mécaniste trivial : il faut renoncer à des propriétés mécaniques.

- Obstacle réaliste : il faut décrire la réalité avec le seul niveau macroscopique.

Cet axe historique a conduit les deux chercheurs vers une étude didactique afin d'identifier les difficultés des élèves lors de la construction d'une représentation du concept de réaction chimique suivant les registres macroscopique et microscopique.

De ce fait, l'organisation de l'enseignement va suivre un cadre épistémologique qui privilégie les deux registres, et un cadre didactique basé sur une hypothèse constructiviste, sur un débat scientifique des élèves et sur la recherche d'une phénoménologie explicative.

Pour chaque séquence d'enseignement, les deux chercheurs ont choisi un obstacle dont ils voulaient étudier la manifestation chez les élèves. Ils ont alors construit une séquence d'enseignement qui conduit l'élève à affronter l'obstacle choisi, d'explicitier en quoi la séquence s'attaque effectivement à cet obstacle et finalement de fournir une fiche pédagogique à l'enseignant.

Les principaux résultats de cette étude sont les suivants:

- Lorsque les élèves doivent décrire une transformation qui pense être chimique, les obstacles liés à la phénoménologie macroscopique (substantialiste et perceptif) se manifestent tout de suite. Par exemple, pour la réaction entre l'acide nitrique et le cuivre métal, les élèves attribuent aux réactifs un changement de leurs propriétés : l'acide devient bleu, le cuivre devient liquide ou se transforme en gaz roux.
- Les élèves présentent des difficultés pour passer au registre microscopique.
- L'équation-bilan cristallise les difficultés des élèves en chimie : chaque transformation chimique est traduite par une équation-bilan, considérée par les élèves comme un exercice purement mathématique dépourvu de toute signification chimique.
- L'équation-bilan n'est pas adaptée pour représenter une réaction chimique réalisée dans des proportions quelconques.

Deux autres études ont été faites par CARRETTO & VIOVY (1994) et BARLET & PLOUIN (1994), sur les différents obstacles épistémologiques dans l'apprentissage du concept de réaction chimique et sur l'équation bilan. Toutefois, CARRETTO & VIOVY (1994) pensent que les obstacles à l'apprentissage du concept de réaction chimique sont nombreux. L'objectif de leur article était de recenser quelques-unes des principales difficultés qui font obstacle à l'acquisition de ce concept suivant deux axes : un premier qui mène à l'analyse du concept de réaction chimique et un deuxième qui porte sur une analyse didactique permettant de proposer quelques pistes facilitant l'enseignement de ce concept.

Pour analyser ce concept, les auteurs ciblent les trois principaux problèmes faisant obstacle à l'apprentissage de ce concept :

- Problème de définition : le concept de réaction chimique est un concept difficile à cerner au plan microscopique et macroscopique.
- Description de la réaction chimique : il s'agit d'une approche statique du phénomène en faisant abstraction à l'aspect dynamique.

- Les langages de la chimie : la construction du concept de réaction chimique nécessite trois types de langages :
 - Le langage naturel : les difficultés d'apprentissage sont dus à l'interférence avec le vocabulaire de la vie courante.
 - Le langage symbolique : la première difficulté provient du langage mathématique puisque les élèves essayent de faire un transfert d'un domaine à un autre ce qui risque d'entraîner des problèmes, la deuxième difficulté découle de la distinction de la signification microscopique et macroscopique de l'écriture symbolique.
- Par ailleurs, pour une analyse didactique de ce concept, les deux chercheurs proposent cinq pistes :
 - Nécessité d'une approche précoce : retarder l'enseignement de ce concept jusqu'à ce que les élèves atteignent un certain état de développement de la pensée formelle, et la construction par étapes de ce concept en parallèle avec la notion de changement d'état.
 - Approche microscopique ou macroscopique : privilégier une approche macroscopique du concept de réaction chimique, puis aborder l'aspect microscopique par le biais de la structure particulaire de la matière en se basant sur les propriétés physiques des substances.
 - Déroulement de la réaction : ne pas se limiter aux bilans réactionnels, mais plutôt décrire le processus de déroulement de la réaction.
 - Ecriture des équations de réactions : préciser le contenu symbolique du langage utilisé.
 - Réalisation d'expériences : l'importance de la réalisation des expériences par les élèves eux-mêmes, est à la base du processus d'apprentissage.

L'étude de BARLET & PLOUIN (1994), portant sur l'équation-bilan en chimie comme source de difficultés persistantes, montre que certaines conceptions persistent à l'entrée à l'université dues à une mauvaise appropriation des concepts liés à l'équation-bilan. Cependant, pour de nombreux étudiants, les difficultés se situent au niveau de l'intégration du facteur temps (vitesse de la réaction), la dualité microscopique - macroscopique (l'équation chimique fonctionne au niveau microscopique et au niveau macroscopique) et la dualité sens direct - sens inverse (la réaction chimique est souvent conçue dans le sens direct et rarement dans le sens inverse, ceci provient du fait de l'utilisation intensif des réactions totales comme la combustion dans l'enseignement). Pour pouvoir dépasser ces difficultés, les deux chercheurs fournissent des propositions didactiques permettant de clarifier des propositions antérieures proposées par eux-mêmes (BARLET, 1993) ou par d'autres (MAYRARGUE, 1993 & DOGGUY, 1993) s'intéressant à ces mêmes types de difficultés. Ces propositions didactiques concernent essentiellement le langage, qui est actuellement porteur d'ambiguïtés, agissant fortement sur le concept :

- Equations et réactions équilibrées : le terme équilibrer une équation ou une réaction peut être confondue avec l'équilibre chimique. Les auteurs suggèrent de remplacer ce terme par l'expression « *égaliser une équation de réaction* ».
- Equation-bilan et équation de réaction : nécessiter de bien différencier l'équation-bilan de l'équation de réaction, tout en conseillant « *d'utiliser le plus tôt possible dans l'enseignement l'équation de réaction (avec des quantités quelconques de matière) à la place de l'équation-bilan (les proportions stoechiométriques sont d'un emploi trop simple)* » (p.52).
- Dualité macroscopique-microscopique : nécessiter d'utiliser le concept d'équation-bilan en allant des états observables (niveau manipulateur) vers des états modélisables (niveau atomique).
- Equilibre chimique et réversibilité : nécessité de caractériser l'équilibre chimique par un adjectif n'ayant pas un double sens.

Nous soulignons d'autres points de vue divers sur les difficultés de compréhension du concept de réaction chimique qui, selon BEN-ZEVI & al. (1982) et TABER (1998), proviennent de la mauvaise compréhension des concepts de base du modèle atomique et de l'incapacité des élèves à les utiliser pour interpréter des propriétés macroscopiques des substances et des lois de la chimie.

Tout en se basant sur ces travaux, notre recherche tente d'apporter un éclairage supplémentaire sur les difficultés des apprenants (niveau 1^{er} cycle universitaire) lors de la construction du sens du concept de réaction chimique pendant les séances de TP sur les dosages acido-basiques. Afin de définir cette démarche, nous traçons une revue sur les travaux en didactique portant sur les acides et les bases.

II. Revue des travaux sur les difficultés d'enseignement-apprentissage des concepts d'acides et des bases

Peu de travaux de recherches ont été faits sur les difficultés d'enseignement-apprentissage des concepts d'acides et des bases. Nous avons pu constater que la plupart des recherches conduites sur le concept de réaction chimique ne prennent pas en compte les réactions acido-basiques.

L'étude faite par SCHMIDT (1991) qui traite sur les difficultés des apprenants face au concept de neutralisation. Le but de cette étude a été d'identifier et de décrire les difficultés qu'ont les apprenants avec le concept de neutralisation. Environ 7500 apprenants ont été aléatoirement assignés à passer des tests se référant au concept de neutralisation. L'analyse des réponses a montré que beaucoup d'apprenants comprennent le concept dans sa signification originale : il s'agit d'une inférence due au vocabulaire (neutralisation veut dire, pour les étudiants, rendre neutre). Ils ont supposé que dans n'importe quelle réaction de neutralisation une solution neutre est formée, même si un acide faible ou une base participe à la réaction. D'autres apprenants sont arrivés à la même conclusion supposant que la neutralisation est une réaction irréversible.

A la fin de son étude, SCHMIDT (1991) essaye de présenter quelques implications pour

la recherche et pour l'enseignement concernant le concept de neutralisation. Toutefois, selon SCHMIDT, quand un nouveau concept chimique est formé, les chimistes essayent de trouver un terme qui indique la signification de ce concept. Cependant, avec le progrès de la science, la signification d'un concept peut changer à un tel degré que le terme approprié au début induit en erreur.

Pour SCHMIDT, cette étude donne une impulsion à l'enseignement de chimie ; un terme doit être remplacé quand ce terme et la signification du concept sont éloignés l'un de l'autre. Beaucoup de concepts en chimie sont présentés à l'apprenant petit à petit. La réaction chimique, par exemple, est décrite dans des cours de chimie d'introduction comme une réaction à sens unique et seulement plus tard comme une réaction d'équilibre, la réaction de neutralisation suit la même voie. Finalement, une compréhension plus profonde du concept de neutralisation peut seulement être réalisée quand les apprenants voient la réaction comme un équilibre chimique.

Une autre étude descriptive, faite aussi par SCHMIDT (1995), permet d'identifier les conceptions tenues par des élèves de lycées allemands concernant la théorie de BRONSTED. Cette étude a été réalisée sur un échantillon de 4291 élèves de lycée, en les questionnant sur la théorie des acides et des bases. Les résultats indiquent que ces élèves ont deux conceptions sur les acides et bases conjugués. D'abord, ils confondent les paires d'acide-base non conjugués et conjugués. Une explication possible de cette conception est que, la distinction entre les deux associations est rarement mentionnée dans des manuels de chimie américains et allemands. Deuxièmement, les élèves considèrent les paires d'ions positivement et négativement chargés comme des paires acide-base conjuguée comme s'ils étaient d'une façon ou d'une autre neutralisés. SCHMIDT, constate que les élèves utilisent correctement la terminologie chimique, mais les conceptions apparaissent parce qu'elle les induit en erreur, puisque les mots utilisés en chimie ont parfois été choisis de façon évocatrice et révèle une partie des idées qui sont derrière ces concepts.

Une autre approche, dans la continuité des précédentes présentée par ROSS & al. (1991), traite de la compréhension des étudiants des concepts liés aux acides et des bases. La méthodologie a été fondée sur une carte conceptuelle construite à partir des programmes d'études. Cette carte a été utilisée dans la construction d'un questionnaire à choix multiple, d'entretiens et utilisé aussi, dans l'analyse des données.

Les concepts d'acides et des bases occupent une place centrale dans les programmes officiels de chimie pourtant peu de recherches ont été conduites sur les conceptions des étudiants dans ce domaine acido-basiques (ROSS & al., 1991).

Les résultats du questionnaire à choix multiple, montre que les 34 élèves qui ont passé ce questionnaire possèdent de bonnes connaissances sur la notion du pH et les phénomènes quotidiens, mais ils ont éprouvé des difficultés avec les bases et l'écriture et l'équilibre des équations chimiques.

Par contre les résultats des entretiens s'avèrent être porteurs de plus d'informations : Bien que certains élèves ont exprimé des connaissances appropriées aux concepts d'acides et des bases, leurs difficultés se situent au niveau des ions et des équations ioniques qui semblent les empêcher de faire des liaisons correctes entre les ions, le pH et

d'autres concepts liés. De plus, la plupart des élèves comprennent difficilement que le pH puisse mesurer la basicité aussi bien que de l'acidité.

Dans le même ordre d'idée, l'étude de CROS & al. (1986) concernant les conceptions des étudiants du 1^{er} cycle universitaire sur les acides et les bases, montrent que les aspects descriptifs relatifs aux acides-bases se révèlent les mieux connus. En revanche, pour les aspects plus pratiques et concrets de la réaction acido-basique semblent moins bien perçus pour les étudiants.

Dans une étude complémentaire, CROS & al. (1988) ont constaté que certains étudiants (deuxième année de l'université) avaient modifié leurs significations des concepts, par exemple en remplaçant une définition descriptive ($\text{pH} < 7$) par une scientifique pour l'acide (un acide libre H^+). Cependant, d'autres concepts, comme la définition descriptive utilisée pour le pH (mesure de l'acidité), ont à peine changé.

III. Modélisation dans l'enseignement des sciences

Les démarches de construction et d'utilisation de modèles occupent une place importante dans l'activité des physiciens et des chimistes. Dans la pratique, les scientifiques utilisent assez rarement les théories qui sont souvent très lourdes et très complexes, mais ils se servent d'autres outils appelés modèles, moins ambitieux, mais néanmoins bien adaptés à l'interprétation et à la prévision des phénomènes. Cependant, en dépit de cette utilisation intensive, la notion de modèle reste assez ambiguë.

III.1. Démarche de modélisation

Au cours d'une démarche de modélisation, l'introduction d'un modèle en référence à un certain champ de phénomènes peut résoudre plusieurs problèmes. Par la suite, le modèle peut être adapté pour résoudre un nouveau problème à condition qu'il soit modifié. Cela implique la construction par emboîtement de modèles de plus en plus généraux afin d'expliquer un nombre de phénomènes toujours croissant.

Toutefois, le processus d'emboîtement arrive à son terme lorsqu'un problème nouveau ne peut pas être résolu par enrichissement d'un modèle existant. Dans ce cas, l'introduction d'un nouveau modèle sera nécessaire (ASTOLFI & DROUIN, 1992).

Les processus de modélisation sont multiples et variés. Nous empruntons à CHOMAT & al. (1988) une présentation sommaire de ce que peut être une démarche de modélisation dans le but de l'appropriation d'un modèle :

La double fonction d'interprétation et de prédiction d'un modèle peut être utilisée pour décrire préalablement un champ de référence. Aussi au niveau des apprenants, une stratégie inductive à partir d'observations expérimentales peut être utilisée pour discuter les prédictions et les règles de correspondance entre la description empirique des phénomènes et la description à l'aide du modèle. Et enfin une validation du modèle est nécessaire pour que l'étudiant puisse se l'approprier.

III.2. Modèle de la triple représentation de la matière :

Selon JOHNSTONE (1993), la chimie moderne peut s'enseigner à partir de trois composantes :

- Une composante macroscopique : « tangible, comestible et visible ».
- Une composante microscopique : « molécules, atomes, cinétique ... ».
- Une composante représentation : « symboles, équations, courbes, formules mathématiques.. »

Toutes ces composantes seront reliées l'une à l'autre selon une représentation triangulaire selon le schéma suivant (Fig 1) :

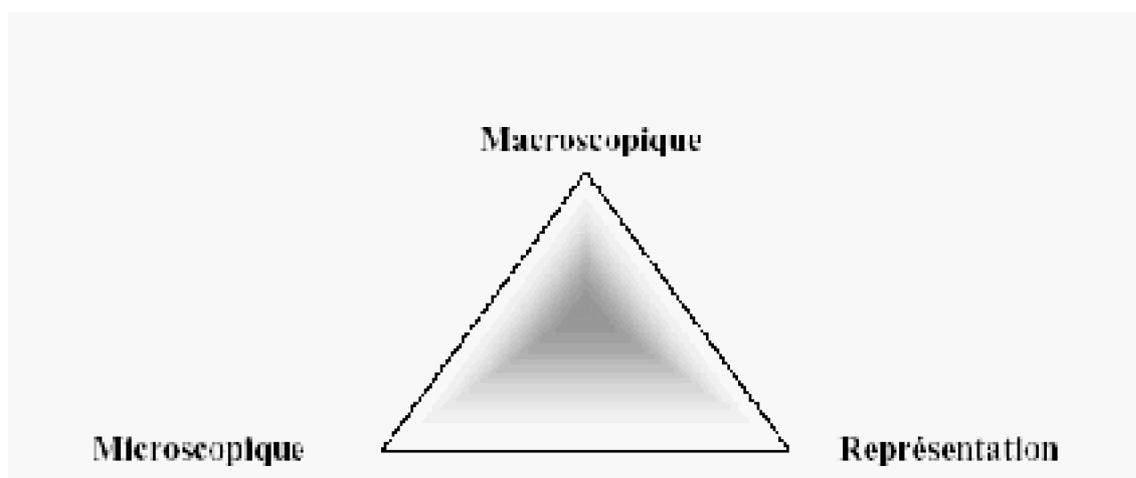


Figure 1 : La chimie nouvelle se base sur trois composantes: la chimie macroscopique, la chimie microscopique et la chimie représentative (JOHNSTONE, 1993)

D'après JOHNSTONE (1993), les chimistes travaillent bien à l'intérieur de ce triangle avec une fusion de ces trois modes. Ils peuvent facilement suinter d'un coin à un autre si leur pensée le demande.

La chimie ancienne est concernée uniquement par les coins macro et symbolique (représentation) et les portions qui les relient. La structure microscopique a été toujours négligée ainsi que le milieu du triangle n'a jamais été exploré. JOHNSTONE (1993), suggère et insiste que les étudiants doivent opérer avec ce triangle lorsque l'occasion se présente.

Selon GABEL (1999), la première barrière empêchant de comprendre la chimie ne se limite pas à l'existence des trois niveaux de représentation de la matière. Les instructions en chimie se résument en un seul niveau, le niveau symbolique ; ce qui est le cas de la plupart des manuels en chimie déjà examinés.

GABEL (1999) suggère qu'il n'est pas nécessaire de relier tout le temps ces trois niveaux dans l'enseignement, mais ce qui est le plus important c'est que les enseignants comprennent cette idée de triple liaison pour qu'ils puissent la transmettre à leurs étudiants.

III.3. Activité de modélisation

Afin d'analyser les activités cognitives des étudiants lors des séances de TP, nous

utilisons une approche par modélisation. Ainsi, l'activité de modélisation permet d'une part, d'analyser les connaissances mises en jeu dans les situations d'enseignement et d'autre part, elle permet d'analyser l'activité cognitive des apprenants en situation d'enseignement-apprentissage.

III.3.1. Niveau des théories et modèles

Cette activité de modélisation (TIBERGHIE, 1994) nécessite la mise en relation de deux niveaux de savoirs, l'un relatif au monde des théories / modèles et l'autre au monde des objets / événements. L'apprentissage en physique est alors interprété comme une mise en relation de ces deux mondes, qui peut se résumer par la figure suivante :

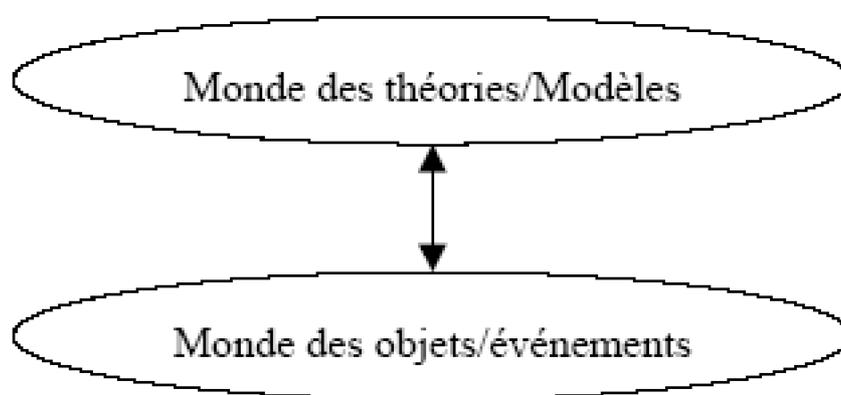


Figure 2: Activité de modélisation en physique selon TIBERGHIE (1994)

Selon TIBERGHIE, l'activité de modélisation met en jeu trois principaux niveaux de savoirs tels que : la théorie, le modèle et le champ expérimental (formé par les objets / événements). TIBERGHIE (1994) précise que les faits expérimentaux sont dépendants de l'approche théorique.

III.3.2. Modèle des deux mondes

La spécificité de la chimie est que les théories et modèles en chimie reposent sur une structure et des propriétés microscopiques. La difficulté des apprenants se trouvent au niveau de la relation qui existe entre la représentation microscopique de la matière et les observations macroscopiques. LE MARÉCHAL (1999), fait une distinction entre les deux mondes de la chimie : le monde perceptible correspond au niveau de description des objets, des événements et des propriétés observables et le monde reconstruit qui donne accès à une représentation microscopique de la matière et de ses propriétés. Ce monde reconstruit, les chimistes l'ont en tête. Les atomes, les molécules, les ions sont des objets qui ont été construits par la pensée au cours des siècles. Selon LE MARÉCHAL (1999), ces ions ne sont pas perceptibles directement par les sens (ils n'appartiennent donc pas au monde perceptible, matériel) pourtant ils ont bien un statut d'objet du monde reconstruit. Lors d'une réaction chimique, ces objets reconstruits peuvent se transformer en d'autres objets reconstruits : cette transformation représente un événement reconstruit.

Le modèle des deux mondes est introduit pour analyser les activités cognitives des apprenants en chimie (LE MARÉCHAL, 1999; PEKDAG & LE MARÉCHAL, 2001). L'intérêt de ce modèle pour l'enseignement de la chimie est, d'apporter une compréhension des difficultés des élèves ou de les prévoir.

Dans l'enseignement de la chimie, certains problèmes régissent des faits expérimentaux appartenant à notre monde réel (perceptible) qui doivent être transposés à des substances chimiques, leurs symbolismes, les équations chimiques... que nous appelons le monde chimique reconstruit.

Dans ces deux mondes, LE MARÉCHAL(1999) trouve des structures similaires parmi lesquelles il y a un sous domaine des objets, des événements et des propriétés. Cette catégorisation nous permet de nous pencher finement sur l'activité cognitive des apprenants en chimie.

Le problème qui se pose au niveau des étudiants est leur difficulté à relier soit deux sous domaines du monde reconstruit soit deux sous domaines équivalents des deux mondes.

Pour décrire une situation classique de chimie, par exemple le cas des dosages acido-basiques, nous identifions trois domaines dans chacun des deux mondes perceptible et reconstruit.

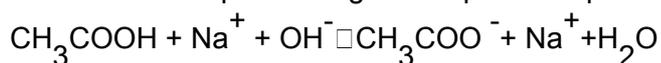
III.3.2.1. Sous domaine des objets :

Dans ce sous domaine qui fait partie du monde perceptible, nous pouvons considérer que la verrerie et les solutions font partie de ce monde. Ces solutions sont considérées comme des objets réels perceptibles.

Les objets reconstruits correspondent à la nature de ces deux solutions : acide acétique et l'hydroxyde de sodium. Pour un non-chimiste, l'acide éthanoïque est juste un mot qui peut être étiqueté sur un flacon d'un liquide incolore, par contre pour un didacticien, ce mot fait appel à plusieurs concepts et permet de différencier les objets perceptibles (liquides) des objets reconstruits (substances chimiques).

III.3.2.2. Sous domaine des événements :

Tout au long d'un dosage, plusieurs événements peuvent avoir lieu : la base coule de la burette, un autre événement d'un intérêt spécial se produit : le liquide incolore dans l'erenmeyer se colore en rose à un certain moment. Cet événement est inattendu de la part d'un non-chimiste. Ceci est un événement perceptible sur lequel chaque personne serait d'accord. Pour les chimistes, cet événement perceptible indique que le titrage est fini : ils considèrent que le titrage est représenté par l'équation chimique suivante :



Cette équation représente un événement reconstruit.

Les chimistes associent les événements perceptibles (changement de couleur) avec les événements reconstruits (réaction chimique).

Toutefois, nous soulignons que nous considérons le point d'équivalence comme étant

un événement reconstruit lorsque l'apprenant le considère comme un point déterminant l'état d'équivalence.

III.3.2.3. Sous domaine des propriétés :

Les liquides impliqués dans le titrage ont plusieurs propriétés. Par exemple, la solution dans l'erenmeyer a la couleur rouge, nous pouvons dire que c'est une propriété perceptible. Pour les chimistes, la propriété acide est reliée à une théorie par exemple la théorie de BRONSTED de l'acidité. L'acidité selon BRONSTED est une propriété reconstruite de la solution.

III.3.2.4. Domaine des représentations

La chimie utilise plusieurs représentations. Selon LE MARECHAL (1999), écrire « un ion chlorure » est un moyen de représenter l'objet reconstruit correspondant. De même, le registre symbolique est utilisé pour représenter l'objet reconstruit ion chlorure par Cl^- . L'équation chimique est une représentation symbolique de l'événement reconstruit (réaction chimique).

LE MARECHAL, considère le domaine des représentations à part, il ne s'agit pas d'un niveau de connaissance mais de leurs représentations.

III.3.2.5. Niveaux des théories et modèles

Une distinction souvent faite dans les domaines de la physique et de la chimie est la distinction macroscopique/microscopique. Dans le cas de la chimie, la différence est que les connaissances théoriques doivent être mises en relation parfois avec le monde perceptible et parfois avec le monde reconstruit.

A fin de favoriser l'articulation entre les éléments du monde théorie/modèle, et pour un besoin pratique de notre recherche, nous avons dissocié ce monde et introduit d'autres niveaux de connaissances, dans une perspective d'enseignement-apprentissage, pour pouvoir proposer à l'apprenant des éléments d'ordre théorique bien structurés. Pour cela, nous avons introduit trois autres niveaux de connaissances tels que, le niveau des grandeurs, le niveau du modèle numérique et le niveau du modèle géométrique. Ces trois niveaux vont nous permettre de mieux analyser l'activité cognitive de l'apprenant réalisant un dosage acido-basique : Par exemple, dans les titrages acido-basiques, l'étudiant se trouve toujours face à des grandeurs mesurables ou calculables, il est amené à tracer des courbes de dosage, à faire des calculs de concentrations ou de quantité de matière. Ces données doivent être catégorisées suivant des niveaux de savoir très précis pour pouvoir détecter les difficultés des apprenants vis-à-vis des dosages acido-basiques.

L'avantage de cette distinction entre le niveau de la théorie et le niveau du modèle, repose sur une hypothèse d'apprentissage commune à de nombreux travaux s'intéressant à l'activité de modélisation de l'élève (TIBERGHIE, 1994) : un concept est d'autant plus opérationnel qu'il est mis en jeu par un élève dans une large variété de niveaux de connaissances.

III.3.2.5.1. THÉORIE

Le niveau de la théorie inclut les propositions utilisant un système explicatif des phénomènes chimiques ou bien des lois et des principes.

Nader-(II.147)³ : Neutralité on a / H⁺ concentration de H⁺ égale Taoufik-(II.152) : La loi d'électro(=:) Nadar-(II.161) : Kallèk (il t'a dit) / en déduire la quantité de matière d'ions H⁺ qui a été dosé + d'après / la conservation de la matière

III.3.2.5.2. GRANDEUR

Le niveau grandeur est un sous domaine de la théorie, incluant les concentrations, les volumes, la masse....

Nadar-(I.561) : 2 pH + ça va ça va il faut expliquer que la concentration et le pH / (... ?) pKa pKa comment comment pKa (... ?) quelle serait l'allure de la courbe de dosage écrit écrit ouf ++

III.3.2.5.3. MODÈLE NUMÉRIQUE

L'un des rôles des modèles est d'être un intermédiaire entre un champ théorique et un champ expérimental. Notre recherche s'articule autour d'un enseignement expérimental mettant en jeu des calculs, pour de telles activités BÉCU-ROBINAULT (1997) ajoute au modèle de TIBERGHIE (1994) le niveau du modèle numérique. Ce niveau inclut le traitement des données expérimentales en utilisant des outils mathématiques. La particularité de ce modèle dans notre analyse est de faire une distinction entre des relations qui semblent être pour d'autres faisant partie de niveau de la théorie et pour nous, nous les catégorisons comme relations faisant partie du modèle numérique.

Par exemple, dans l'analyse des différentes transcriptions ou les copies des étudiants, nous avons constaté que les étudiants se mettent à faire des calculs sans que le texte du TP ne le demande, tout en appliquant la relation à l'équivalence CAVA = CBVB.

Taoufik-(I.269) : CA c'est égal VB CB sur VA application numérique / application numérique Nadar-(I.270) : Nalquaw (on trouve) 0,1 / Taoufik-(I.271) : CA c'est égal VB égal 7,7 puis CB

III.3.2.5.4. MODÈLE GÉOMÉTRIQUE

Ce niveau inclut les propositions utilisant une description géométrique de la courbe du dosage. Le critère de classement est purement d'ordre mathématique. Toutefois, tout point faisant partie de la courbe du dosage est considéré comme un modèle géométrique, lorsque les étudiants traitent le point d'équivalence uniquement comme un point appartenant à la courbe sans faisant référence à l'état d'équivalence alors nous catégorisons, dans ce cas, le point d'équivalence comme étant un modèle géométrique et non pas un événement reconstruit.

³ Le premier chiffre entre parenthèse correspond au numéro du TP (II. indique TP2). Le deuxième chiffre indique le numéro de l'intervention.

Taoufik – 8 : Notre courbe a une allure croissante / Nadar – 9 : On remarque que cette courbe (::) / consiste des trois parties / (... ?) Taoufik – 10 : Elle comporte trois parties elle est composée de trois parties

III.3.2.6. Représentation du modèle des deux mondes

Nous aboutissons à un schéma de structuration des savoirs ou connaissances faisant intervenir un monde théorie/modèle, un monde perceptible et un monde reconstruit

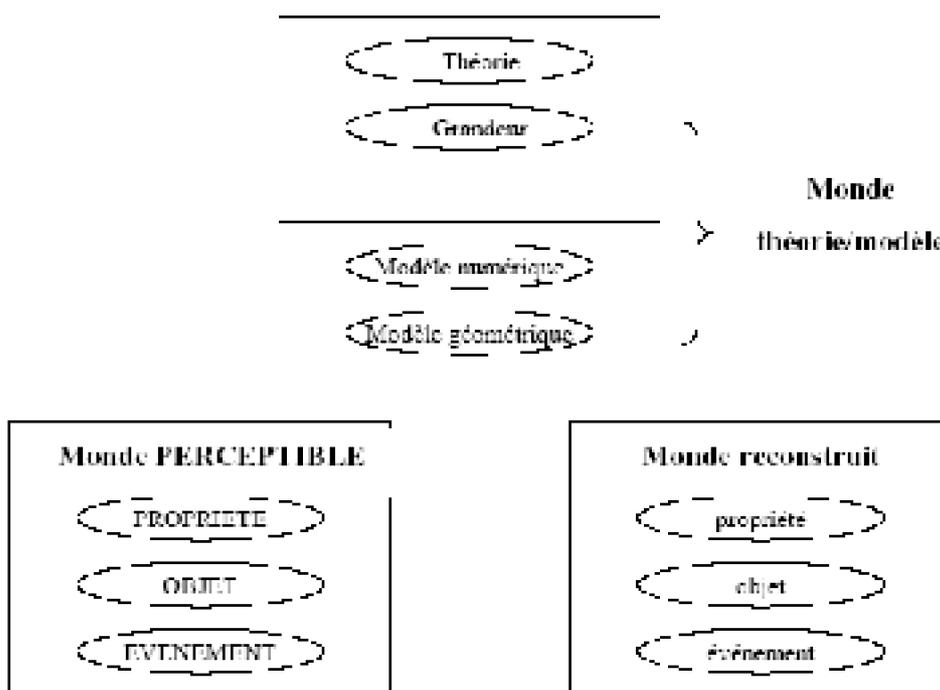


Figure 3 : Modèle des deux mondes. Par commodité, les attributs des deux mondes apparaissent respectivement en MAJUSCULES ou en minuscules suivant les cas

Toutefois, cette représentation (Fig.3) va être notre support d'analyse des activités cognitives des étudiants lors de la réalisation des dosages acido-basiques.

Pour notre étude, l'intérêt d'un tel modèle est double. D'une part, il permet une fine analyse *a priori* de la situation proposée aux étudiants et, d'autre part, il permet de catégoriser les productions des étudiants afin de prévoir et d'interpréter de nombreuses difficultés des apprenants. Ces difficultés des étudiants se passent fréquemment quand ils ont à relier deux sous domaines du monde reconstruit ou deux sous domaines équivalents des deux mondes.

Les difficultés des apprenants vis-à-vis de la réaction chimique et des concepts d'acides et des bases que nous avons citées précédemment, peuvent être catégorisés selon le modèle des deux mondes. Prenons le cas des réponses ne mettant pas en œuvre des invariants (MEHEUT, 1989), cette difficulté est liée au monde perceptible. Aussi, les élèves considèrent que la réaction chimique est un événement avec des manifestations phénoménologiques (STAVRIDOU & SOLOMONIDOU, 1998), et les obstacles des registres macroscopiques et microscopiques (LAUGIER & DUMON, 2000), ces deux

exemples représentent les difficultés des élèves dans la mise en lien entre le monde perceptible et le monde reconstruit.

IV. Fonctionnement cognitif de l'apprenant

Lorsque nous analysons les activités de l'apprenant au cours de la modélisation, nous émettons l'hypothèse que la construction des connaissances se fait par la mise en relation par l'étudiant des différents niveaux de connaissances. Nous considérons alors ce processus d'apprentissage comme faisant partie du courant de pensée socioconstructiviste.

Beaucoup de travaux ont entrepris une approche constructiviste lors de la description des conceptions des apprenants sur des sujets scientifiques, parmi lesquelles nous citons GILBERT & WATTS (1983) qui soulignent la nécessité de distinguer entre, le concept comme une structure de connaissance personnelle, individuelle et ce qu'il y a dans la tête d'un individu, et le concept comme l'organisation d'un système de connaissance public se trouvant dans les livres de classes. Par contre AULT & al. (1984), estiment qu'il faut distinguer entre la structure cognitive qui est l'objet d'étude, et la structure conceptuelle qui est la représentation de produit d'analyse des apprenants, tout en affirmant que la structure conceptuelle est une meilleure approximation de la structure cognitive.

LAKOFF & JOHNSON (1980), décrivent la différence entre les structures par lesquelles ils catégorisent les expériences personnelles et des présences externes, et les représentations qu'ils construisent comme des modèles de ces structures. Toutefois, TABER (1998) souligne à partir des travaux de LAKOFF & JOHNSON et d'AULT & al., qu'il faut distinguer entre la structure cognitive d'un individu et ce qui est perçu de commun entre différents individus.

Une recherche menée par SERE & BENEY (1997) sur le fonctionnement intellectuel d'étudiants réalisant l'expérience est basée sur la psychologie cognitive. L'objectif de cette recherche est de caractériser les opérations intellectuelles qui sous-tendent et dirigent l'action et les gestes des étudiants pendant des séances de travaux pratiques. Pour SERE & BENEY (1997), les travaux pratiques peuvent être assimilés à des situations d'apprentissage par l'action. Les étudiants s'enferment facilement dans des réseaux d'actions, évitant éventuellement de les piloter par les réseaux conceptuels.

V. Situations d'apprentissage

Nous avons signalé jusqu'ici les bases théoriques en matière de savoirs et connaissances sur lesquelles nous nous sommes appuyées pour analyser les difficultés des apprenants en situation de TP portant sur les dosages acido-basiques. Nous allons maintenant expliciter le cadre théorique concernant les situations d'apprentissage à partir duquel l'élaboration a été effectuée. Nous présenterons notamment les concepts de milieu et de dévolution issus de la théorie des situations de (BROUSSEAU, 1998), ainsi que la théorie de l'apprentissage coopérant (BAKER, 2002).

V.1. Théorie des situations

La compréhension de la situation didactique et en particulier l'apprentissage de l'élève nécessite de compléter le triangle élève – enseignant – savoir par un quatrième élément : le milieu.

De ce fait, vu l'importance du milieu dans une situation didactique, nous pouvons dire que l'enseignement consiste à provoquer chez l'élève les apprentissages projetés en le plaçant dans des situations appropriées auxquelles il va répondre spontanément par des adaptations c'est-à-dire que l'élève apprend en s'adaptant à un milieu qui est producteur de contradictions, de difficultés et de déséquilibres. Dans une telle situation, l'interaction entre l'élève et le milieu qui l'entoure favorise l'apprentissage et la construction de nouvelles connaissances.

Pour cela, la théorie développée par BROUSSEAU nous semble pertinente pour notre recherche dans le cas où l'apprenant fait appel à des connaissances diverses lorsqu'il est placé dans des situations de travaux pratiques. Nous nous proposons par la suite de définir les concepts qui seront utiles dans notre analyse à savoir le concept de situation adidactique, les concepts de dévolution et le concept de milieu.

V.2. Situation adidactique

Dans une situation adidactique, la résolution de la tâche est indépendante du désir de l'enseignant. Nous pouvons rencontrer de pareille situation en dehors de n'importe quel contexte d'enseignement et en l'absence de toute indication intentionnelle.

L'élève construit ou modifie son rapport avec la connaissance en réponse aux exigences du milieu et non aux désirs de l'enseignant ; ce qui rend l'élève responsable de la construction de son savoir : pour lui trouver la solution du problème devient l'enjeu d'apprentissage d'un nouveau savoir.

Selon BROUSSEAU (1998) une situation adidactique est une situation dans laquelle « *le maître se refuse à intervenir comme possesseur des connaissances qu'il veut voir apparaître* » (p.59).

V.2.1. Dévolution

Selon BROUSSEAU (1998), l'enseignement a pour objectif principal le fonctionnement de la connaissance comme production libre de l'élève dans ses rapports avec un milieu adidactique. L'élève doit s'adapter à ce milieu pour acquérir des connaissances. L'enseignant cherche, par-là, à ce que l'action de l'élève ne soit produite et justifiée que par les nécessités du milieu et par ses connaissances, et non par l'interprétation des procédés didactiques du professeur. La dévolution consiste pour l'enseignant, non seulement, à proposer à l'élève une situation qui doit susciter chez lui une activité non convenue, mais aussi à faire en sorte qu'il se sente responsable de l'obtention du résultat proposé, et qu'il accepte l'idée que la solution ne dépend que de l'exercice des connaissances qu'il possède déjà.

Bien que l'enseignant présente un désengagement vis-à-vis du savoir à enseigner,

dans une situation adidactique, il doit prendre acte de ce que les élèves ont fait, décrire ce qui s'est passé et qui a un rapport avec la connaissance visée

V.2.2. Milieu

La théorie des situations souligne le rôle crucial du milieu. BROUSSEAU (1998) définit le milieu comme un système antagoniste du sujet qui apprend: « *Tout ce qui agit sur l'élève ou ce sur quoi l'élève agit* ».

Ainsi, l'apprenant va pouvoir construire son rapport à l'objet de connaissance ou le modifier en réponse aux exigences d'un milieu qui est source de contradictions, de difficultés et de déséquilibres. Le milieu favorise donc l'adaptation de l'élève.

Dans les séances de travaux pratiques, le milieu est représenté par : les étudiants, le texte de la manipulation, le matériel. Chaque étudiant ayant des connaissances spécifiques va sélectionner des éléments de la situation parmi d'autres et donner un sens, qui lui est propre, à ces éléments.

BROUSSEAU (1986), considère le milieu comme rétroactif dans le cas d'une situation adidactique, l'élève fournit une réponse et le milieu doit donner une indication quant à la véracité de la réponse. C'est donc le milieu qui est le plus apte à fournir à l'élève des indices de la réussite de la tâche. En cas de rétroaction positive, l'élève considère que la tâche est réussie et il peut passer à l'étape suivante. Dans le cas contraire, il lui faut recommencer tout en tentant de découvrir les moyens matériels et/ou cognitifs qui lui manquent pour réaliser la tâche. Cependant une rétroaction négative du milieu (l'élève s'aperçoit que sa réponse est incorrecte) ne signifie pas forcément échec dans l'apprentissage. De même une rétroaction positive du milieu n'implique pas une réussite de l'apprentissage. Concernant notre recherche, nous étudions les éléments du milieu influant sur la compréhension et la mise en œuvre des connaissances par les élèves.

V.3. Apprentissage coopératif

Au cours des TP, les étudiants travaillent en binôme et rédigent un seul compte-rendu pour deux. Selon BAKER (1996), quand deux élèves « travaillent ensemble » pour résoudre un problème scolaire, il leur arrive parfois de ne pas être d'accord sur une solution intermédiaire, proposée par l'un ou l'autre. Parfois, ils explicitent ce désaccord et, moins souvent, ils tentent de le résoudre (ou bien de le dissoudre) par l'argumentation dans le dialogue. Cette argumentation peut fonctionner comme un des moyens de la co-construction des connaissances et peut jouer un rôle constructif. Toutefois, l'apprentissage coopératif, au sens de BAKER, ne se réduit pas à la transmission des états de connaissance, mais il s'agit plutôt à une régulation mutuelle : la nécessité de se mettre d'accord pendant la résolution de la tâche oblige les apprenants à expliciter leurs décisions stratégiques.

Un autre point de vue sur l'apprentissage coopératif est celui de PLÉTY (1996), qui prétend que « *le but de cette parcellisation du groupe classe est de donner aux apprenants la possibilité d'agir par eux-mêmes, en mettant en commun leurs différentes ressources dans la perspective d'une meilleure appropriation de la connaissance* ».

VI. Synthèse

Nous situons notre recherche dans le cadre de l'enseignement-apprentissage des dosages acido-basiques en situation de TP. Pour analyser les difficultés des apprenants vis-à-vis des dosages, nous nous situons dans une approche permettant, d'une part, de se rendre compte des conceptions liées à la réaction chimique et aux acides et aux bases, et d'autre part, d'identifier les activités de modélisations des apprenants et des processus cognitifs lors de ces activités. Nous adoptons le point de vue de TIBERGHIE (1996) : le processus cognitif sera analysé à travers la mise en relation des deux mondes, c'est-à-dire que lorsque l'élève réalise une expérience, il va mettre en œuvre des activités cognitives propres à la modélisation.

À partir du cadre théorique présenté dans les paragraphes précédents, nous pouvons préciser notre objet de recherche en formulant les hypothèses et les questions de recherche décrites ci-dessus :

VII. Hypothèses et questions de recherche

Dans la description de nos critères d'analyse des différents travaux pratiques (TP), nous exposons quatre hypothèses de recherche qui portent sur le fonctionnement cognitif de l'étudiant lors de la réalisation d'un TP sur les dosages acido-basiques.

Les hypothèses de recherche que nous allons présenter, sont directement en relation avec le cadre théorique détaillé ci-dessus :

(H₁) : Hypothèse de cohérence: Lors de la réalisation d'une activité de TP, l'étudiant est cohérent de son point de vue. Cette hypothèse permet l'étude du fonctionnement cognitif de l'apprenant.

(H₂) : Hypothèse d'apprentissage : La construction des connaissances se fait par la mise en relation par l'étudiant des différents niveaux de connaissances. Un concept est alors d'autant plus opérationnel qu'il est mis en jeu par un étudiant dans une large variété de niveaux de connaissances.

(H₄) : Hypothèse de recherche : Nous allons considérer pour notre travail deux hypothèses de recherche :

- Comme nous l'avons déjà signalé, les apprenants présentent des difficultés dans l'apprentissage des concepts d'acide-base en solution. L'acquisition de ces concepts passe nécessairement par la compréhension du concept de réaction chimique. Nous faisons alors l'hypothèse que les difficultés des apprenants lors des dosages acido-basiques proviennent de la non compréhension du concept de réaction acido-basique.
- Les difficultés des apprenants peuvent venir de leur application de schémas perceptibles à des événements reconstruits.

A partir du cadre théorique développé auparavant, et des hypothèses de recherche

formulées ci-dessus, nous cherchons à répondre à plusieurs questions de recherche.

Etant donnée que nous faisons une comparaison entre les anciennes versions des TP et les nouvelles que nous avons construites pour les besoins de notre recherche, les deux premières questions de recherche que nous avons formulées portent sur cette étude comparative.

(Q₁) : Est-ce que l'ancienne version du TP fait ressortir les difficultés des étudiants vis-à-vis des réactions acido-basiques ?

(Q₂) : Quelles sont les difficultés qui ressortent de la nouvelle version du TP ?

(Q₃) : Quels sont les niveaux de connaissances mis en œuvre dans les questions proposés dans les différentes séances de TP ?

(Q₄) : Quelle est l'influence des questions qui accompagnent l'expérience sur l'apprentissage de l'apprenant ?

(Q₅) : Comment peut-on décrire l'apprentissage d'un étudiant à l'aide des niveaux de connaissances dans diverses situations de TP ?

(Q₆) : Quels sont les niveaux de connaissances pris en compte par les étudiants lors de la construction du sens du concept de réaction acido-basique ? Comment ces niveaux sont-ils mis en œuvre ?

Chapitre 2. Analyse du savoir savant

Le domaine de l'acido-basicité est important dans la chimie inorganique. L'objectif de ce chapitre est de définir les différents concepts chimiques utilisés dans ce domaine, que nous jugeons utiles à notre séquence d'enseignement expérimental.

I. Définition des acides et des bases et couples acidobasiques

Selon HUHEEY, KEITER & KEITER (1996), « la théorie » des acides et des bases est en réalité des définitions de ces concepts, elle n'a pas le statut de la théorie au bon sens du terme.

HUHEEY & al. (1996) estiment que « *les diverses conceptions de l'acido-basicité ne s'intéressent pas à ce que qui est "juste", mais à ce qui est le plus commode à utiliser dans telle ou telle situation* » (p.318).

Etant donnée qu'il existe plusieurs définitions courantes de l'acido-basicité, nous nous sommes limités à présenter la définition de BRONSTED & LOWREY vue qu'elle est utilisée au niveau du 1^{er} cycle universitaire.

I.1. Définition de Bronsted & LOWRY (1923)

BRONSTED & LOWREY définissent les acides comme des donneurs de proton et les bases comme des accepteurs de proton.

Pour HUHEEY & al. (1996), l'utilité de la définition de BRONSTED& LOWREY vient de sa capacité à traiter tous les solvants protiques.

I.2. Application de la définition de Bronsted et LOWRY

I.2.1. Couples acide-base conjugués

HUHEEY & al. (1996) définissent les acides et bases conjuguées comme des espèces chimiques qui ne diffèrent entre elles que par le transfert de protons. Les réactions de types transfert de protons, peuvent avoir lieu dans le sens qui conduit aux espèces les plus faibles. L'acide le plus fort, et la base la plus forte de chaque couple conjugué réagissent pour former l'acide et la base les plus faibles

I.2.2. Force des acides et des bases

Selon HUHEEY & al. (1996), l'acide le plus fort et la base la plus forte de chaque couple conjugué réagissent pour former l'acide et la base les plus faibles.

II. Définition du système solvant

HUHEEY & al. (1996), précisent que de nombreux solvants s'auto-ionisent comme l'eau en formant une espèce cationique et une espèce anionique.

Concernant les réactions acide-base et plus particulièrement les neutralisations, HUHEEY & al. (1996) redéfinissent l'acide comme une espèce qui fait augmenter la concentration du cation caractéristique du solvant et une base comme une espèce qui fait augmenter la concentration de l'anion caractéristique du solvant.

A partir de ces définitions traitées dans la chimie des acides et des bases, nous constatons que le savoir savant ne traite pas le côté pratique des dosages acido-basiques.

Nous allons voir, dans la partie qui suit, les concepts qui sont abordés dans l'enseignement supérieur à BIZERTE (TUNISIE).

III. Savoir à enseigner

Nous nous proposons de voir de quelle manière se présentent ces concepts dans l'enseignement supérieur à BIZERTE (TUNISIE) à travers des textes de TP (version antérieure à 1999).

Les textes de TP traitent de sept types de dosage acido-basiques, répartis sur quatre séances de TP. L'effet tampon est traité dans une cinquième séance avec le dosage d'oxydo-réduction. Nous analysons globalement la partie théorique présente au début de chaque séance de TP afin de voir l'articulation des différents concepts utilisés dans les textes de TP.

Le premier TP traite du dosage de l'acide fort par une base forte, la partie théorique

présente une définition du dosage basé sur une écriture de l'équation de la réaction acido-basique d'une manière générale. La définition du dosage dans le texte du TP est la suivante : « *c'est déterminer la quantité de base qu'il faut ajouter pour que tous les protons libérables par l'acide soient captés par la base. On est alors au point d'équivalence* ». L'état d'équivalence est exposé, dans ce texte du TP, comme étant un point représentant l'équivalence.

La deuxième partie théorique de ce 1^{er} TP traite sur la détermination du point d'équivalence se basant sur un aspect pratique.

Le deuxième texte du TP présente le dosage d'un acide faible par une base forte, sans donner un aspect théorique à ce dosage.

L'étude du dosage de polyacides dans le troisième texte du TP, est faite à partir des dosages d'un diacide, d'un polyacide et d'un mélange de deux acides. La partie théorique du dosage d'un diacide (acide sulfurique), présente le comportement de ce dernier dans une situation de dosage classique acide base en précisant que l'acide sulfurique présente deux acidités fortes. Nous tenons à préciser que le texte du TP, présente l'acide sulfurique comme ayant deux acidités sont fortes. Concernant la partie théorique du dosage de l'acide phosphorique, le texte du TP indique que l'acide phosphorique est un triacide dont les trois acidités sont de forces très différentes et que la troisième acidité étant trop faible. Le dosage du mélange de deux acides ne présente aucune partie théorique.

Le quatrième texte du TP traite du dosage d'une dibase et d'un mélange de bases. La partie théorique du dosage du carbonate de sodium présente le caractère amphotère de l'ion hydrogénocarbonate en se basant sur les équations de réactions du dosage. Concernant le dosage de la soude carbonatée, le texte du TP mentionne que la soude réagit avec le gaz carbonique en précisant l'équation de la réaction correspondante. Aussi, le texte du TP présente un examen de la courbe du dosage en indiquant qu'en présence de phénolphaléine, la soude est dosée ainsi que la première basicité du carbonate de sodium. En présence d'hélianthine, la soude est dosée et tout le carbonate.

Concernant l'effet tampon, le texte du TP présente une définition d'une solution tampon et du pouvoir tampon.

PARTIE B : Méthodologies d'analyse

Chapitre 1. Construction de la séquence

Nous nous intéressons principalement dans ce chapitre, à la description de la conception des séances de travaux pratiques mis en place à l'occasion de cette recherche.

La construction des différentes séquences de travaux pratiques se base sur une perspective socioconstructiviste et sur le rôle des connaissances initiales des étudiants dans le processus d'apprentissage.

En premier lieu, nous nous sommes basés sur des études antérieures synthétisées par BUTY & al. (2004), portant sur le processus de construction des séquences d'enseignement.

En second lieu, les TP SOC⁴ sont à l'origine de la conception de nos trois séances de TP. Les TP SOC s'inscrivent dans une continuité de travail de recherche-développement, réalisé entre 1995 et 1998 par un groupe appartenant à la région lyonnaise (France) formé par des inspecteurs pédagogiques régionaux, des enseignants du secondaire et des chercheurs. Ce groupe s'intéresse à la construction des

⁴ L'abréviation SOC reprend les initiales des trois thématiques scientifiques sur lesquelles travaillent les groupes de recherches développement : Son Optique Chimie.

séquences de travaux pratiques dédiées à l'enseignement du son que VINCE (2000) les qualifie comme étant « *un enseignement expérimental favorisant la modélisation* ».

Mis à part l'apport des TP SOC dans notre conception des TP, nous nous sommes appuyés aussi sur une enquête européenne "Projet Labwork in Science Education ⁵" à propos des travaux pratiques. Le résultat de cette enquête est l'élaboration des séquences où l'expérimental est exploitée de multiples façons (TIBERGHIEU & al. 1998).

I. Etudes antérieures

Beaucoup d'études ont analysé le processus de construction de séquences comme étant une activité de recherche.

L'exposition de ces études antérieures, montre la variété d'approche de conception et l'étude des séquences d'enseignement.

LIJNSE (2000) a proposé une approche du « problème – posant » comme une perspective pour la construction des séquences d'enseignement. Son approche est fondée sur trois hypothèses principales :

- LIJNSE indique aussi que la conception de la séquence d'enseignement utilise différentes hypothèses fondamentales, qui dépendent de la relation qui existe entre la connaissance qui va être enseigné pendant la séquence et l'ensemble des idées *a priori* provenant de la vie quotidienne.
- LIJNSE considère aussi que la conception d'une séquence d'enseignement repose sur beaucoup de résultats de recherches en didactique, et non pas uniquement sur la connaissance qui va être enseigné, mais aussi sur le système éducatif en particulier.
- Il a aussi réclamé que la motivation doive être un aspect principal lors de la construction de la séquence.

En se basant sur ces trois hypothèses, LIJNSE a élaboré des structures didactiques, organisé horizontalement suivant trois niveaux : le niveau de contenu, le niveau de motivation, et le niveau de réflexion, entre lesquelles la séquence progresse tout en changeant en allant d'un questionnement initial à une compréhension profonde de la question.

KORTLAND (2001) a raffiné les structures didactiques de LIJNSE en distinguant cinq phases : motivation, question, investigation, application et réflexion, qui sont reliées ensemble d'une manière cycliques.

De ces deux études, nous retenons l'idée de se baser sur des hypothèses clairement définies pour la construction de la séquence et d'utiliser un canevas bien structuré qui décrit le contenu de la séquence de l'enseignement. Cependant, nous donnons une priorité dans la construction aux connaissances qui vont être enseignées et la

⁵ Travail réalisé de février 1995 jusqu'au Avril 1998 dans les lycées et début université en France, Angleterre, Danemark, Grèce, Italie, dont le sujet est "Améliorer l'enseignement des sciences en Europe : Enjeux et recherches sur des approches innovantes en travaux pratiques utilisant ou non l'ordinateur".

connaissance initiale de l'apprenant.

Dans le champ de didactique de physique, MÉHEUT (1997) a décrit clairement les hypothèses d'apprentissage à la base de la construction d'une séquence d'enseignement.

Ces hypothèses d'apprentissage sont liées à quelques aspects spécifiques de la connaissance qui à enseigner. Une de ces hypothèses était, selon MÉHEUT : « *un modèle peut être accepté par les élèves seulement s'il paraît être un meilleur outil pour expliquer ou prédire des phénomènes* ».

L'idée principale que nous retenons de ce travail, est la nécessité de prendre en considération les conceptions initiales des apprenants au sujet de la connaissance mise en jeu dans les hypothèses d'apprentissage.

LEACH & SCOTT (2002) ont offert une perspective pour construire une séquence d'enseignement, basée sur le concept de demande d'apprentissage, et une perspective socioconstructiviste d'apprentissage.

Par conséquent, leur approche pour développer une séquence d'enseignement comprend:

- Une identification du savoir scientifique scolaire à enseigner;
- Une considération de la conceptualisation de ce savoir dans le langage des étudiants.
- Une identification de la demande d'apprentissage en considérant la différence entre les deux premiers points;
- Un développement de la séquence d'enseignement.

Dans notre conception des trois séances de TP, nous avons suivi une approche semblable dans l'identification de l'intervalle entre ce que l'apprenant sait déjà et ce qui est supposé apprendre.

Cependant, une validation de la séquence est supposée importante dans la construction des séquences d'apprentissage qui consiste, selon LABORDE (1997), à comparer deux modèles différents du même objet (séquence d'enseignement), selon une analyse *a priori* et une analyse *a posteriori*.

Les conclusions que nous dégageons de ces études pour la construction de notre séquence d'enseignement expérimentale, consistent à:

- Fonder une structure de la séquence d'enseignement sur un cadre théorique bien structuré, y compris les hypothèses d'apprentissage qui prennent en considération les conceptions initiales des étudiants.
- Utiliser une méthodologie d'analyse *a priori* pour la validation de la séquence d'enseignement.

II. Différents types d'hypothèses de construction de la séquence

La conception des séquences d'enseignement est une activité complexe qui nécessite de

prendre en considération les trois pôles classiques : connaissance, apprentissage et enseignement, sans oublier l'institution dans laquelle cet enseignement et apprentissage doivent avoir lieu. Chaque pôle peut être lié à une structure théorique : épistémologique, psychologique et didactique (COLE & ENGSTRÖM 1993, LABORDE & al. 2002).

Dans cette partie du chapitre, nous fournirons les hypothèses que nous utilisons pour construire les séquences d'enseignement. Chacune de ces hypothèses implique à la fois les trois domaines de la structure théorique cités par COLE & ENGSTRÖM (1993) et LABORDE & al. (2002).

Selon BUTY & al. (2004), le chemin entre la structure théorique et la conception de la séquence d'enseignement est très long. Ce n'est pas une conséquence directe de la structure ; plusieurs choix doivent être faits. Un des buts principaux de la recherche de BUTY & al. (2004) été de rendre ces choix aussi explicite que possible. Dans cette perspective, deux rôles à la structure théorique ont été introduits : elle peut exercer des contraintes, et peut fournir des indications. Comme le schéma de la séquence devait respecter les hypothèses de la structure théorique, cette structure agit comme une contrainte. Simultanément, ces contraintes mènent à chercher de nouvelles tâches à proposer aux étudiants, de nouvelles organisations de la classe, et ainsi de suite, et donc la structure théorique peut fournir des indications utiles pour classer le développement.

En effet, les hypothèses qui ont servi de base à la construction de notre séquence sont de trois types : celles portant sur le savoir, d'autres sur l'apprentissage et d'autres d'ordre didactique.

II.1. Hypothèses sur le savoir

La place théorique du savoir est basée sur les travaux de CHEVALLARD (1991).

Selon DARLEY (1994), CHEVALLARD assigne à chaque objet de savoir un *habitat* (« l'adresse, le lieu de résidence ») et une *niche écologique* (« les fonctions, la profession qu'il y exerce »). CHEVALLARD émet l'hypothèse qu'un changement d'habitat s'accompagne d'un changement de niche : un objet de savoir changeant d'institution change donc aussi de fonction (le savoir vit dans de groupes de gens appelés *institution* : les représentants du système d'enseignement, les représentants du savoir académique...). Les savoirs sont ainsi assimilés à des objets nomades, passant d'une institution à l'autre, et se transformant au gré des contraintes exercées sur eux.

De cette perspective, CHEVALLARD (1991) distingue le savoir de référence (ce qu'il appelle le *savoir savant*) et le premier produit de la transposition qu'il désigne comme le *savoir à enseigner*, qu'il différencie du second produit de la transposition didactique, le *savoir (réellement) enseigné*.

Pour ARSAC (1992), le savoir enseigné résulte d'une fabrication à partir du savoir savant, il s'agit d'une réécriture du texte des savoirs :

« L'infidélité du savoir enseigné au savoir savant se traduit dans les faits par une originalité par rapport au savoir savant. Cette originalité suppose un travail de fabrication du savoir enseigné à partir du savoir savant. C'est ce travail de fabrication qui constitue par définition la transposition didactique » (arsac,1992,

p.11)

Cependant, le processus de concevoir le savoir impliqué dans une séquence d'enseignement correspond à une transposition didactique. L'élaboration de ce savoir est basée sur les programmes scolaires officiels. Néanmoins, cette élaboration exige une manipulation du savoir et une réorganisation du programme scolaire, c'est-à-dire le décomposer en des petits morceaux et l'intégrer dans des activités. Dans cette manipulation du savoir, nous avons fait appel aux anciens textes de TP déjà existants. Ces derniers nous ont servis comme savoir à enseigner.

Toutefois, lors de la construction des séances de TP, nous avons tenu compte que les étudiants n'ont pas eu encore un enseignement sur les concepts d'acides et des bases, leurs connaissances antérieures sur ce domaine relève de la 4^{ème} année secondaire (niveau terminal), c'est pour cette raison que l'objectif de nos séquences était à double usage : enseignement et apprentissage.

II.2.Hypothèses d'apprentissage

Les séquences de TP que nous avons construites reposent sur un ensemble d'hypothèse à caractère constructiviste.

Dans des recherches basées sur la conception des situations d'enseignement, cette construction devrait être faite sur des bases théoriques et sur des faits explicites. De ce fait, nous nous sommes basés dans notre recherche sur des hypothèses de modélisation.

II.2.1. Hypothèse de modélisation

Dans notre structure théorique, le premier choix est basé sur un fondement épistémologique et sur des hypothèses d'apprentissage.

La signification des concepts physiques et chimiques au niveau du primaire, secondaire ou au niveau de l'université exigent des liens entre, d'une part, une connaissance directe et la perception du monde perceptible, et d'autre part, la théorie ; une des principales difficultés pour les apprenants est l'établissement d'un tel lien. Ce choix théorique est transformé en une contrainte dans la conception des séquences d'enseignement : l'instruction doit distinguer explicitement les aspects théoriques et une description directe du monde perceptible.

L'hypothèse de modélisation a des implications sur le niveau macroscopique de la conception de la séquence entière et sur le niveau microscopique de la conception d'une tâche spécifique (ARTIGUE, 1992). Au niveau macroscopique, les théories/modèles sont formulées avec l'objectif d'être cohérents au moins avec l'ensemble des expériences. Au niveau microscopique, cette hypothèse exige que le concepteur considère explicitement que les étudiants puissent exécuter la tâche donnée à partir de leurs propres connaissances et les renseignements qui sont disponibles dans la classe (textes, cadre expérimental, etc.).

Selon BUTY & al.(2004), l'articulation entre le niveau microscopique et le niveau macroscopique autorise l'établissement de cohésion entre chaque exemple de la séquence.

L'hypothèse de modélisation que nous avons ciblé dans la construction de la séquence, était d'aider les étudiants à mettre en relation le monde reconstruit et le monde perceptible. Cela peut être concrétisé à partir des activités expérimentales qui aident les apprenants à identifier des objets et des événements et à se familiariser avec eux, et aussi à les aider à mettre en oeuvre différentes relations avec la plupart des niveaux de connaissances.

Toutefois, cela montre l'importance primordiale des activités de modélisation dans la construction des séquences d'enseignement-apprentissage. Ceci est confirmé par MILLARD (1998) cité dans le rapport Coast-DidaSco-Les :

« Un des moyens les plus efficaces d'attirer l'attention des étudiants sur la dimension conceptuelle est de les entraîner très tôt aux activités de modélisation »

Comme nous l'avons annoncé au début de ce chapitre, les TP SOC et le projet « Labwork in Science Education » ont élaboré dans la construction de notre séquence de TP.

II.2.1.1. TP SOC

La base principale des TP SOC est l'activité de modélisation qui se caractérise par le fait que, les concepts de physique prennent du sens dans la mise en relation entre les différents niveaux de savoir et dans leur articulation avec les objets et événements.

Les TP SOC sont basés sur des activités favorisant la désignation d'un phénomène :

« L'intérêt de ces activités est d'amener les élèves à relier une description en terme des objets et des événements à une description phénoménologique » (vince, 2000)

Le groupe SOC a eu pour souci de varier les fonctions attribuées à l'expérience pendant les séances de TP, sans viser la diversité pour elle-même mais en cherchant à exploiter toute expérience à bon escient et dès qu'elle peut permettre d'introduire un concept, d'observer des phénomènes ou de donner du sens à un modèle par exemple. (Vince, 2000).

L'objectif principal des TP SOC était de, diversifier les modalités d'activités impliquant l'expérience, ces modalités sont les suivantes :

- Repérer un événement commun à toute une classe de situations.
- Confirmer ou infirmer une prédiction effectuée préalablement.
- Imaginer une expérience pour mettre en évidence un phénomène décrit théoriquement.
- Imaginer une expérience ou un protocole pour réaliser une tâche pratique.
- Faire des liens qualitatifs entre caractères perceptifs et des grandeurs mesurables relevant d'un modèle en chimie.
- Permettre l'utilisation d'un modèle pour interpréter l'expérience réalisée pour donner du sens aux concepts du modèle.

Toutefois, dans l'élaboration de notre séquence de TP, nous avons tenu compte de ces

différentes modalités d'activités pour mettre en évidence l'événement reconstruit qui n'est autre que le concept de réaction chimique. Chacune des questions de réflexion proposées à l'étudiant est basée sur cette perspective, nous allons le signaler dans chaque analyse de TP.

II.2.1.2. Projet « Labwork in Science Education »

Le rapport européen "Labwork in Science Education" a permis de montrer que les objectifs d'apprentissage attribués au TP par l'enseignant sont assez peu variés, et ceci dans les principaux pays d'Europe : identifier des objets ou des phénomènes et les rendre plus familier, apprendre un concept, apprendre une relation, apprendre à utiliser un instrument ou encore apprendre à traiter des données, à les utiliser pour appuyer une conclusion. Apprendre une théorie ou un modèle n'est que rarement fixé comme objectif d'un TP (TIBERGHIEU & al, 1998).

Ces quelques objectifs sont en accord avec ce que les étudiants sont effectivement censés faire une fois l'expérience réalisée : en classe de chimie il s'agit essentiellement de redécrire directement la ou les observations, d'étudier la relation entre des grandeurs, de calculer la valeur d'une grandeur non mesurée ou de rendre compte d'observations en proposant une explication au regard d'une loi connue. Des activités comme vérifier une prédiction ou faire un choix entre plusieurs explications possibles à l'aide d'une expérience sont essentielles dans une logique de modélisation. Ces activités ne sont quasiment jamais faites par les étudiants au niveau du 1^{er} cycle universitaire (TIBERGHIEU & al., 1998).

II.3. Hypothèses didactiques

Pour construire ces hypothèses, la structure théorique a été élaborée dans la communauté des didacticiens de mathématiques en France. Dans la théorie de la transposition didactique, le temps d'enseignement représente un aspect crucial dans l'organisation du système pédagogique et à l'intérieur de l'école (CHEVALLARD, 1991).

Cette contrainte joue un rôle important sur la séquence au niveau macroscopique et sur chaque tâche ou ensemble de tâches qui doivent équilibrer les séries de sessions d'enseignement. Cela contraint la séquentialisation de la connaissance qui va être enseignée.

Nous avons utilisé aussi le concept de dévolution pour spécifier le rapport entre le savoir et les étudiants (BROUSSEAU, 1998) :

« La dévolution est l'acte par lequel l'enseignant fait accepter à l'élève la responsabilité d'une situation d'apprentissage ou d'un problème, et accepte lui-même les conséquences de ce transfert » (BROUSSEAU, 1998, p. 303).

Cependant, la dévolution du problème et les différentes activités que nous avons proposé dans les séquences de TP (prédire, interpréter, décrire, ...) peuvent conduire à faire bouger les conceptions initiales et les difficultés de l'étudiant afin qu'il construise de nouvelles connaissances.

En effet, l'un des objectifs de nos hypothèses didactiques lors de la construction de la

séquence, étaient de créer des situations qui peuvent aider les étudiants, d'une part à prendre conscience des limites de leurs connaissances par déstabilisation et d'autre part, à construire de nouvelles connaissances par adaptations successives de ces dernières avec le milieu.

Comme point de départ, nous avons présenté les études antérieures et les différentes hypothèses sur lesquelles nous nous sommes basés lors de la conception des séances de TP.

Dans la partie qui suit, nous présentons une description globale de la séance qui sera analysé plus finement dans la partie analyse et résultats de notre travail.

III. Description de la séquence

L'objectif de cette partie est de décrire d'une manière succincte les différents aspects qui nous ont permis à élaborer les différentes séances de TP. Les finalités recherchées dans cette élaboration des TP sont les suivantes :

- Faire en sorte que le concept de réaction acido-basique soit présent dans chaque question d'une manière implicite ou explicite ;
- Faire en sorte de renforcer les mises en relation des différents niveaux de connaissances ;
- Produire des séances de TP innovantes pour l'enseignement.

Lors de l'élaboration des TP, la question que nous nous sommes posée était la suivante : quels sont les concepts mis en jeu lors d'un dosage acido-basique ?

Le savoir à enseigner est fixé par l'institution : dans le cas des dosages acidobasiques, l'étudiant aborde comme activité expérimentale les différents types de dosages tels que : dosage acide fort/base forte, dosage acide faible/base forte, dosages de polyacides et dosages d'une dibase et d'un mélange de bases.

Cependant, lors de la construction de ces TP, nous avons pris en compte les acquis scolaires des étudiants et les contraintes associées aux TP.

III.1. Acquis scolaires des étudiants

Les concepts d'acide et de base occupent une place importante dans l'enseignement de la chimie à différents niveaux scolaires et universitaires.

Dans l'enseignement secondaire, les concepts d'acide et de base sont introduits au niveau du programme de deuxième année d'une manière explicite. Concernant la classe de troisième année scientifique, nous traitons uniquement le concept d'acide et spécifiquement comme exemple les acides carboxyliques.

Quant au programme de la classe de quatrième année scientifique (classe terminale), les concepts d'acide et de base occupent presque la moitié du programme de chimie (Huit chapitres dans le programme officiel).

A ce niveau d'enseignement, trois types de dosages sont traités dans le manuel :

vertu de la loi du droit d'auteur.

acide fort/base forte; acide faible/ base forte et base faible/ acide fort.

Etant donné que les dosages de polyacides et dosages d'une dibase et d'un mélange de bases ne sont pas connus par l'étudiant au niveau de la quatrième année scientifique, nous avons fixé comme finalité pour les séances de TP comme étant des séances d'enseignement-apprentissage.

III.2. Contraintes associées aux TP

Selon DARLEY (1994), la construction d'une séquence d'enseignement doit tenir compte des objectifs d'enseignement, qui restent prioritaires, et aussi tenir compte des différentes contraintes auxquelles la séquence sera confrontée. DARLEY (1994) présente trois types de contraintes : contraintes institutionnelles, les contraintes pédagogiques et contraintes matérielles. Nous nous sommes intéressés uniquement aux deux premières contraintes.

III.2.1. Contraintes institutionnelles

III.2.1.1. Contenus

A l'université, les programmes sont définis par l'institution et par les enseignants. Lors de la construction de notre séquence, nous nous sommes basés sur les textes de TP (version antérieure à 1999) de la faculté des sciences de BIZERTE (TUNISIE), afin de voir le contenu des travaux pratiques dans le domaine des acides et des bases.

III.2.1.2. Temps d'enseignement

Lors de la construction de la séquence d'enseignement expérimentale, nous avons fixé comme temps d'enseignement 4 heures pour chaque séance de TP ; Or le temps fixé par l'institution est de 3 heures, ce qui nous a amené à faire des allègements au niveau des textes de TP.

III.2.1.3. Nombre d'étudiants

Les séances de TP se déroulent soit par binôme soit par trinôme vu le nombre important d'étudiants à l'université. L'hypothèse sous-jacente à ce mode de fonctionnement est que, les interactions verbales entre les étudiants sont un support à la construction des connaissances : il s'agit d'un apprentissage coopératif.

III.2.2. Contraintes pédagogiques

III.2.2.1. Temps

L'éloignement de deux séances de TP successives (2 semaines), imposent l'élaboration d'une séquence d'enseignement à la fois pratique et autonome.

III.2.2.2. Evaluation

L'évaluation des étudiants se fera à partir de la capacité des étudiants à répondre aux questions et sur les résultats obtenus pendant la manipulation.

IV. Conclusion

Après avoir pointé les différentes étapes de construction des séances de TP, nous souhaitons noter néanmoins que cette séquence d'enseignement a été validée dans des classes de TP à l'université, depuis le début de notre expérimentation jusqu'au jour d'aujourd'hui.

Toutes les étapes de la construction ont été identifiées, les étapes suivantes de notre travail vont être l'analyse des déroulements de ces 3 séances de TP.

Chapitre 2. Méthodologies de recueil et d'analyse des données

Dans ce chapitre, nous allons nous attacher à présenter la méthode mise en place pour le recueil et l'analyse des données afin de répondre aux questions de recherche. Nous avons choisi de mener parallèlement une étude de cas avec deux étudiants que nous avons suivi tout au long d'un enseignement expérimental, et une étude qui possède une représentation un peu plus statistique en analysant les comptes rendus d'un grand nombre d'étudiants ayant suivi le même enseignement.

Nous présenterons ici,

- la façon dont les textes de TP ont été construits ainsi que leurs analyses *a priori*,
- le contexte de cet enseignement expérimental et le détail technique de la méthode de recueil de données,
- puis nous présenterons la méthode d'analyse des données collectées.

Cette méthodologie, nous permet de faire une analyse des productions verbales et écrites des étudiants suivant les différents niveaux de connaissances. L'analyse des productions écrites englobe la comparaison entre les productions des étudiants de l'ancienne version des TP et ceux de la nouvelle version, afin de voir l'évolution de leurs connaissances en tenant compte de la nature du milieu organisé pour chacun des travaux pratiques (TP).

Aussi, cette méthode que nous avons adoptée nous permet principalement de répondre aux questions de recherches suivantes :

- (Q₁) : Est-ce que l'ancienne version du TP fait ressortir les difficultés des étudiants vis-à-vis des dosages acido-basiques ?
- (Q₂) : Quelles sont les difficultés qui ressortent de la nouvelle version du TP ?
- (Q₃) : Quels sont les niveaux de connaissances mis en œuvre dans les questions

proposés dans les différentes séances de TP ?

- (Q₄) : Quelle est l'influence des questions qui accompagnent l'expérience sur l'apprentissage de l'apprenant ?
- (Q₅) : Comment peut-on décrire l'apprentissage d'un étudiant à l'aide des niveaux de connaissances dans diverses situations de TP ?
- (Q₆) : Quels sont les niveaux de connaissances pris en compte par les étudiants lors de la construction du sens du concept de réaction acido-basique ? Comment ces niveaux sont-ils mis en œuvre ?

I. Elaboration des TP

Les TP⁶ sur lesquels se base notre recherche ont été élaborés à partir des cinq TP déjà existant à la faculté des sciences de BIZERTE (TUNISIE) pour les étudiants de 1^{ère} année MPC (Maths – Physique – Chimie – Informatique). Ces manipulations portent sur des différents dosages acido-basiques qui mettent en jeu le concept de réaction chimique.

Ces TP couvraient le champ disciplinaire que nous souhaitons aborder et constituons une base intéressante à notre étude.

Pour cela, nous présentons un exemple d'analyse du texte du TP01⁷, en utilisant la carte d'analyse présentée par TIBERGHIE & al. (2001) puisque nos TP semblent représentatifs de ce qui se faisait généralement à ce niveau. Cette carte va nous permettre d'analyser la forme et le contenu des tâches du TP.

L'analyse va montrer que dans la plupart des cas ce qui est demandé aux étudiants n'est qu'une identification des objets et phénomènes ou bien un rapport direct d'observations et non pas apprendre une théorie/modèle.

Les activités régulières dans le TP01 et les autres TP des différents pays de l'Europe, n'aident pas les étudiants à construire de nouvelles relations entre les concepts, les perceptions et les objets. Ils sont supposés découvrir de nouvelles relations ou de nouveaux concepts par eux-mêmes ou utiliser des théories qui ont été déjà apprises.

I.1. Exemple d'analyse du TP01 par la carte (TIBERGHIE & al., 2001)

Cette carte présente trois dimensions (A, B₁ et B₂)

Nous présentons par la suite un exemple d'analyse du texte de TP01 suivant les caractéristiques de la carte. Cette carte peut être utilisée comme un outil très utile pour concevoir des TP, elle fournit des renseignements pertinents pour la compréhension de la connaissance enseignée.

Pour l'analyse du texte TP01 suivant les trois dimensions de la carte, nous procédons de la manière suivante : nous avons coché dans chaque case présente dans une dimension,

⁶ Réalisation : Rym NAIJA et Jean-François LE MARECHAL

⁷ L'indice 0 indique les anciens textes de TP (versions antérieures à 1999)

si le texte du TP01 présente cette caractéristique.

A. Résultat espéré : Objectifs d'apprentissages (Choisir une ou deux cases)

Aider l'élève à

| | | |
|-------------|--|---|
| Contenu : | Identifier des objets et des phénomènes et à se familiariser avec eux | X |
| | Apprendre un ou des fait(s) | X |
| | Apprendre un concept | X |
| | Apprendre une relation | X |
| | Apprendre une théorie/ modèle | |
| Processus : | B1.1 Ce que les élèves sont censés faire avec les Objets et les Observables (Choisir une ou deux cases) | |
| | Apprendre comment utiliser un instrument de laboratoire courant, ou installer et utiliser un dispositif expérimental classique | X |
| | Apprendre comment exécuter un mode opératoire classique | X |
| | Apprendre comment planifier une recherche pour s'attaquer à une question ou à un problème spécifique | |
| | Apprendre comment traiter les données | X |
| | Apprendre comment utiliser des données pour appuyer une conclusion | |
| | Apprendre comment communiquer les résultats de leur travail | |
| | | |

B1. Caractéristiques de la tâche

B1.1 Ce que les élèves sont censés faire avec les Objets et les Observables (Choisir une ou deux cases)

| | | |
|-----------|---|---|
| Utiliser | un appareil d'observation ou de mesure | X |
| | un appareil de laboratoire ou un montage | X |
| | un protocole expérimental | X |
| Présenter | Un objet | |
| Faire | Un objet | |
| | Un matériau | |
| | Un événement qui se produit | |
| Observer | Source de données (dimension transversale) | |
| | Un objet | |
| | Un matériau | |
| | Un événement | X |
| | Une quantité | X |

Source de données (dimension transversale)

| |
|---|
| Monde réel : à l'intérieur du laboratoire X |
| Monde réel : à l'extérieur du laboratoire |
| Simulation sur ordinateur ou CD-ROM |
| Enregistrement vidéo |
| Texte X |

B1.2 Ce que les élèves sont censés faire avec les Idées : (Choisir une ou deux cases)

| | | |
|--|---|---|
| Noter des observations | | X |
| Identifier une régularité | | |
| Etudier la relation entre | des objets | X |
| | des quantités physiques (variables) | X |
| | des objets et des quantités physiques | |
| Inventer (ou découvrir) un nouveau concept (une quantité physique ou une entité) | | |
| Déterminer la valeur d'une quantité qui n'est pas mesurée directement | | X |
| Tester une prédiction | A partir d'un essai | |
| | A partir d'une loi | |
| | A partir d'une théorie (ou un modèle basé sur le cadre théorique) | |
| Rendre compte des observations | Termes d'une loi donnée | |
| | Termes d'une théorie donnée (ou modèle) | |
| | Proposition d'une loi | |
| | Proposition d'une théorie (ou modèle) | |
| Choisir entre deux (ou plusieurs) explications données | | |

Outils à utiliser pour traiter l'information (dimension transversale)

Apprentissage des réactions acido-basiques : Mise en évidence et remédiation des difficultés des étudiants lors d'une séquence d'enseignement expérimental

| |
|----------------------------|
| A la main ou papier crayon |
| Calculatrice de poche X |
| Ordinateur |

B1.3 Tâche gouvernée par les observations ou par les Idées ? (Choisir une case)

| | |
|---|---|
| Ce que les élèves sont censés faire avec les idées découle de ce qu'ils sont censés faire avec les objets ? | |
| Ce que les élèves sont censés faire avec les objets découle de ce qu'ils sont censés faire avec les idées ? | |
| Il n'y a pas de relation claire entre ce que les élèves sont censés faire avec les idées et ce qu'ils sont censés faire avec les objets | X |

B1.4 Degré d'ouverture ou de fermeture (Choisir une case dans chaque ligne)

| Aspect de la tâche de TP | Imposée par l'enseignant | Décidée par une discussion entre enseignant et élèves | Choisi par l'élève |
|--|--------------------------|---|--------------------|
| La question à résoudre | X | | |
| L'équipement à utiliser | X | | |
| Le mode opératoire à suivre | X | | |
| Les méthodes de traitement des données recueillies | X | | |
| L'interprétation des résultats | | | X |

B1.5 Nature de l'implication de l'élève (Choisir une case)

| | |
|---|---|
| Expérience réalisée par l'enseignant, l'élève observe | |
| Expérience réalisée par l'enseignant, l'élève observe et participe sous la direction de l'enseignant (par exemple en faisant des observations ou des mesures) | |
| Expérience menée par les élèves en des petits groupes | X |
| Expérience menée par chaque élève seul | |

B2. Contexte de la tâche

B2.1 Durée de la tâche (choisir une case)

| | |
|---|---|
| Très courte (20 minutes) | |
| Courte (une séance jusqu'à 80 minutes) | X |
| Moyenne (2-3 leçons) | |
| Longue (2 semaines ou plus) | |

B2.2 Personnes avec qui l'élève interagit (Choisir un ou plusieurs cases)

| | |
|---|---|
| Autres élèves réalisant la même tâche de TP | X |
| Autres élèves qui ont déjà fait cette tâche | |
| Enseignant | X |
| Elèves plus avancés | |
| Autres (techniciens, ...) | |

B2.3 Sources d'informations disponibles pour l'élève (Choisir un ou plusieurs cases)

| | |
|--|---|
| Feuille de TP | X |
| Livres | |
| Notices (des appareils), livre de données, ... | |
| Base de données informatisées | |
| Autres | |

B2.4 Type d'appareils utilisés (Choisir une case)

| | |
|---|---|
| Equipement de laboratoire standard | X |
| Equipement de laboratoire standard interfacé à un ordinateur | |
| Equipement de la vie quotidienne (balance de cuisine, matériaux ou équipements domestiques) | |

A partir de cette analyse du TP01 suivant la carte, nous pouvons faire une comparaison des résultats de ce TP et ceux enseignés dans les différents pays de l'Europe.

Pour la catégorie **A** des objectifs d'apprentissages, nous remarquons les mêmes résultats concernant les TP passés en Tunisie et ceux passés en Europe, à savoir que les tâches posées à l'étudiant sont généralement une identification des objets et des phénomènes plutôt qu'apprendre une théorie / modèle. En chimie, les tâches demandées aux étudiants sont relatives au savoir-faire : utiliser un instrument de laboratoire courant ou installer et utiliser un dispositif expérimental classique.

Concernant la deuxième catégorie B1.1 ce que les élèves sont censés faire avec les objets et les observables, les résultats sont aussi frappant car dans tous les TP qui ont été analysés, les élèves utilisent fréquemment des appareils de mesure ou un protocole expérimental ou bien ils observent une quantité.

Pour la catégorie **B1.2**, ce que les élèves sont censés faire avec les idées, le plus haut niveau en chimie revient aux deux items suivant : « *noter des observations* » et « *déterminer la valeur d'une quantité qui n'est pas mesurée directement* ».

En ce qui concerne la catégorie B1.3 tâche gouvernée par les observations ou par les idées, les textes de TP analysés ne montrent aucune relation claire entre ce que les élèves sont censés faire avec les idées et ce qu'ils sont censés faire avec les objets.

La catégorie suivante porte sur l'aspect de la tâche du TP plus exactement qui est l'initiateur principal dans les activités de TP, est-il l'enseignant ? les élèves ? ou bien le résultat des discussions entre l'enseignant et les élèves ?. A partir des analyses, nous constatons que dans toutes les tâches de TP, que ce soit en Tunisie ou dans l'un des pays de l'Europe le principal initiateur des différentes activités du TP reste le professeur.

La catégorie qui suit **B1.5** nature de l'implication de l'élève, ne donne pas une information originale généralement dans les séances de TP les élèves sont supposés travailler en des petits groupes mais la démonstration de l'enseignant est exclue.

Les catégories qui suivent portent sur le contexte de la tâche telles que : durée de la tâche, personnes avec qui l'élève interagit, sources d'informations disponibles pour l'élève et types d'appareils utilisés. La catégorie B2.2 durée de la tâche dépend de la décision du département qui fait partie de l'institution.

Les trois autres catégories qui restent dégagent les mêmes résultats pour les différents TP, les élèves interagissent soit avec d'autres élèves réalisant la même tâche soit avec l'enseignant, la source d'information disponible pour l'élève reste toujours la feuille de TP, quant aux types d'appareils utilisés dans les séances de TP sont généralement des équipements de laboratoires standard.

Cette comparaison entre le TP01 et les autres TP des différents pays de l'Europe montre une nette ressemblance des résultats, ce qui nous amène à dire qu'il n'y a aucune cohérence entre l'apprentissage des tâches du TP et ce que les élèves doivent apprendre comme connaissance.

La conclusion que nous pouvons tirer que dans un TP typique seulement les actions avec les objets, les observables et quelques aspects théoriques spécifiques doivent être impliqués, il peut aussi y avoir une petite accentuation sur le rapport entre le domaine des objets, des observables et le domaine des idées qui est en rapport avec les aspects théoriques.

Notre analyse des textes des TP (version antérieure à 1999) montrera que ces derniers ne prennent pas explicitement en charge les connaissances qui sont reconnues comme essentiel dans ce type d'enseignement. Nous nous sommes donc laissé la possibilité de comparer dans une certaine mesure l'apprentissage résultant de ces anciens TP par rapport à ceux que nous avons reconstruits.

Nous présentons par la suite les cinq TP (version antérieure à 1999) :

- TP01 : Comparaison de deux méthodes de titrage d'un acide fort par une base forte.
- TP02 : Dosage d'un acide faible par une base forte. Préparation d'une solution d'acide
- TP03 : Dosage de polyacides.
- TP04 : Dosage d'une dibase et d'un mélange de bases.

- TP05 : Effet tampon. Dosage d'oxydo-réduction.

Nous avons analysé les différentes questions proposées dans ces cinq TP, cette analyse se base sur notre cadre théorique et plus particulièrement sur les différents niveaux de connaissances mis en jeu pour chaque question.

I.2. Analyse des anciens textes de TP version antérieure à 1999

I.2.1. TP01 : Comparaison de deux méthodes de titrage d'un acide fort par une base forte

Dans ce TP, l'étudiant est amené à réaliser trois dosages :

A : Titrage d'une solution de HCl (1N) par une solution de NaOH en présence d'un indicateur coloré.

B : Tracé de la courbe de titrage de HCl par NaOH.

C : Dosage d'une solution diluée d'acide chlorhydrique 10^{-3} M.

Dans ces tableaux, la colonne de gauche rappelle les questions posées dans le texte de la tâche. La colonne de droite donne succinctement les niveaux de connaissances mis en jeu *a priori* et éventuellement un commentaire.

Tableau 1: Analyse du TP0A version antérieure à 1999

| Questions | Eléments d'analyse |
|--|---|
| Ecrire l'équation de la réaction de dosage | Représentation symbolique d'un événement reconstruit (la réaction du dosage). C'est une question habituelle en chimie dont la réponse est explicitement présente dans le cours. Il est donc vraisemblable que les étudiants puissent répondre à ce type de question |
| Calculer les concentrations molaire et massique | Modèle numérique C'est une question habituelle dans les TP de dosages, suivant laquelle les étudiants vont appliquer directement la relation $CAVA = CBVB$ |
| Le choix de l'indicateur est-il satisfaisant | Pas de référence ni à la composition du système chimique, ni à la réaction chimique Résultat provenant du cours |
| Quel indicateur permet de déterminer la concentration de la solution avec la meilleure précision ? | idem |
| précision... | Calcul des précisions : Modèle numérique |

Apprentissage des réactions acido-basiques : Mise en évidence et remédiation des difficultés des étudiants lors d'une séquence d'enseignement expérimental

Les questions précédentes ne prennent pas en charge la spécificité du système réactionnel, elles sont de types questions fermés.

Tableau 2 : Analyse du TP0B version antérieure à 1999

| Questions | Eléments d'analyse |
|--|--|
| Déterminer par la méthode des tangentes le point d'équivalence | Modèle géométrique Cette question peut ne pas être posé de cette manière, nous laissons le soin à l'étudiant de déterminer la méthode tout seul. |
| Indiquer sur la courbe les entités chimiques prédominantes dans chaque zone. | Prise en compte de la composition du système, mais la nature des zones est implicite, et certainement différent pour l'élève et pour l'enseignant. Monde reconstruit |
| Calculer les concentrations molaire et massique avec les incertitudes. Présenter les résultats sous forme $X = (a \pm ia)$ unité | Modèle numérique C'est une question habituelle dans les TP de dosages, suivant laquelle les étudiants vont appliquer directement la relation $CAVA = CBVB$ |
| Comparer les deux méthodes des parties B et C. Quelle est la plus précise ? Pourquoi. ? | Ne fait pas intervenir explicitement la réaction chimique. |

Concernant les questions relatives au dosage pH-métrique, ils n'indiquent en aucun cas les spécificités du dosage acide fort - base forte, la détermination du point d'équivalence est beaucoup plus importante que de l'évolution du système chimique.

Tableau 3 : Analyse du TP0C version antérieure à 1999

| Questions | Eléments d'analyse |
|--|--|
| Effectuer le dosage de la solution en procédant comme dans les parties B et C et tracer sur le même papier millimétré la courbe $pH = f(V_{NaOH})$ | Modèle géométrique |
| Calculer la concentration molaire de la solution ainsi obtenue. | Modèle numérique C'est une question habituelle dans les TP de dosages, suivant laquelle les étudiants vont appliquer directement la relation $CAVA = CBVB$ |
| Comparer les deux courbes. Que peut-on conclure ? | Ne fait pas intervenir explicitement la réaction chimique. |

Les questions relatives à ce dosage, appartiennent au monde perceptible.

I.2.2.TP02 : Dosage d'un acide faible par une base forte. Préparation d'une

solution d'acide

Dans ce TP, l'étudiant est amené à réaliser trois dosages :

A : Dosage d'une solution d'acide acétique par une solution de NaOH en présence d'un indicateur coloré.

B : Tracé de la courbe de dosage d'acide acétique par NaOH.

C : Dosage d'une solution normale d'acide sulfurique par la soude M/5.

Tableau 4 : Analyse du TP02A version antérieure à 1999

| Questions | Eléments d'analyse |
|--|---|
| Ecrire l'équation de la réaction de dosage | Représentation symbolique d'un événement reconstruit (la réaction du dosage). C'est une question habituelle en chimie dont la réponse est explicitement présente dans le cours. Il est donc vraisemblable que les étudiants puissent répondre à ce type de question |
| Calculer les concentrations molaire et massique | Modèle numérique C'est une question habituelle dans les TP de dosages, suivant laquelle les étudiants vont appliquer directement la relation $CAVA = CBVB$ |
| Le choix de l'indicateur est-il satisfaisant | Pas de référence ni à la composition du système chimique, ni à la réaction chimique. Résultat appartenant au cours |
| Quel indicateur permet de déterminer la concentration de la solution avec la meilleure précision ? | idem |
| précision... | Calcul des précisions : Modèle numérique |

Tableau 5 : Analyse du TP02B version antérieure à 1999

Apprentissage des réactions acido-basiques : Mise en évidence et remédiation des difficultés des étudiants lors d'une séquence d'enseignement expérimental

| Questions | Éléments d'analyse |
|--|---|
| Déterminer par la méthode des tangentes le point d'équivalence | Modèle géométrique |
| Indiquer sur la courbe les entités chimiques prédominantes dans chaque zone. | Prise en compte de la composition du système mais la nature des zones est implicite, et certainement différent pour l'élève et pour l'enseignant. |
| Calculer les concentrations molaire et massique avec les incertitudes. Présenter les résultats sous forme $X = (a \pm \Delta a)$ unité | Modèle numérique |
| Comparer les deux méthodes des parties B et C. Quelle est la plus précise ? Pourquoi. ? | Ne fait pas intervenir explicitement la réaction chimique. |

Les deux dosages précédents utilisent les mêmes questions que le 1^{er} TP, il n'y a aucune innovation qui peut être attractif pour l'étudiant, ça prend le contexte d'une recette de cuisine qu'on applique à chaque système réactionnel.

Tableau 6 : Analyse du TP02C version antérieure à 1999

| Questions | Éléments d'analyse |
|---|--|
| Effectuer le dosage en utilisant la solution de soude 1M en présence d'un indicateur coloré | Pas de question concernant ce dosage. Sous domaine des événements perceptibles. |
| Préparation d'une solution et dosage de vérification | Pas de question concernant cette partie. Sous domaine des événements perceptibles. |

Dans cette partie, il n'y a pas une tâche de réflexion, l'étudiant se contente de faire des expériences, il est dans le monde perceptible.

I.2.3. TP03 : Dosage des polyacides

Dans ce TP, l'étudiant est amené à réaliser trois dosages :

A : Dosage d'un diacide : acide sulfurique.

B : Dosage d'un polyacide : acide phosphorique.

C : Dosage d'un mélange de deux acides : H_2SO_4 et H_3PO_4 .

Tableau 7 : Analyse du TP03A version antérieure à 1999

| Questions | Eléments d'analyse |
|---|---|
| Calculer : - Le nombre de moles d'ions OH^- ajoutées - Le nombre de moles d'ions H_3O^+ dosés dans les V_0 mL de départ - Le nombre de moles de H_2SO_4 dans les V_0 mL de départ - La concentration molaire en H_2SO_4 (C_a) - Le titre massique en H_2SO_4 | Modèle numérique |
| D'après les expériences précédentes montrer que l'acide sulfurique se comporte ici comme un monoacide | Modèle géométrique et un lien avec un événement perceptible qui est le saut de pH (E) |

Dans cette 1^{ère} partie du TP, l'étudiant est amené à faire principalement des calculs, ce qui n'est pas le but recherché dans les TP.

Tableau 8 : Analyse du TP03B version antérieure à 1999

| Questions | Eléments d'analyse |
|--|---|
| Ecrire les équations des réactions qui ont lieu lors du dosage | Représentation symbolique d'un événement reconstruit (la réaction du dosage). C'est une question habituelle en chimie dont la réponse est explicitement présente dans le cours. Il est donc vraisemblable que les étudiants puissent répondre à ce type de question |
| Exprimer dans les deux cas le nombre de moles de soude ajoutés (n_{OH^-}) en fonction de V_1 ou V_2 | Modèle numérique |
| Exprimer dans les deux cas le nombre de moles de H_3O^+ dosés en fonction de V_1 ou V_2 | Modèle numérique |
| Calculer dans les deux cas la concentration molaire de la solution en H_3PO_4 (C_a) | Modèle numérique |
| Calculer le titre massique | Modèle numérique |
| Le choix des indicateurs est-il satisfaisant | Pas de référence ni à la composition du système chimique, ni à la réaction chimique. Résultat évident du cours |
| Calcul d'incertitude | Modèle numérique |

Mis à part la question relative à l'écriture des équations de réactions, les autres questions se regroupent principalement à un domaine numérique, c'est comme si les TP était une initiation à l'apprentissage des méthodes de calculs en chimie.

Tableau 9 : Analyse du TP03C version antérieure à 1999

| Questions | Éléments d'analyse |
|---|---|
| Déterminer, à partir de la courbe de dosage, le volume de soude correspondant au premier saut de pH (V_1) et celui correspondant au second saut de pH (V_2) | Modèle géométrique E : sous domaine des événements perceptibles qui est le saut de pH P : sous domaine des propriétés perceptibles qui est le volume de soude |
| Calculer la concentration molaire de chacun des deux acides dans le mélange (le volume de mélange dosé est 20m^3) | Modèle numérique |

Ces deux questions sont intéressantes pour le cas d'un mélange de deux acides. Il était souhaitable d'ajouter une réflexion sur les réactions mises en jeu.

I.2.4.TP04 : Dosage d'une dibase et d'un mélange de bases

Dans ce TP, l'étudiant est amené à réaliser deux dosages :

A : Dosage du carbonate de sodium par l'acide sulfurique N/10.

B : Dosage de la soude carbonatée.

Tableau 10 : Analyse du TP04A version antérieure à 1999

| Questions | Éléments d'analyse |
|--|--------------------|
| Calculer : - La normalité, la concentration molaire et le titre massique. Faire le calcul d'incertitude. | Modèle numérique |

Dans ce dosage, les étudiants sont amenés à faire l'expérience et de se contenter de faire des calculs de normalité et de concentrations. Les domaines utilisés sont purement d'ordre perceptible et numérique.

Tableau 11: Analyse du TP04B version antérieure à 1999

| Questions | Éléments d'analyse |
|---|--------------------|
| Donner le résultat en normalité, concentration molaire et titre massique pour la soude et pour le carbonate de sodium. Faire un calcul d'incertitude. | Modèle numérique |
| Calculer le pourcentage de la soude initiale qui s'est carbonatée. | Modèle numérique |

Les mêmes questions se répètent à fur et à mesure que nous passons d'un TP à un autre, ce qui ne procure pas un côté attractif pour les étudiants.

I.2.5.TP05 : Effet tampon. Dosage d'oxydo-réduction

Ce TP comporte deux parties : l'une porte sur l'effet tampon qui est une partie intégrante

des dosages acido-basiques, l'autre partie porte sur les dosages d'oxydo-réduction.

Dans notre reconstruction des TP, nous nous intéressons uniquement à l'effet tampon que nous allons l'inclure dans le dosage d'un acide faible par une base forte.

Tableau 12 : Analyse du TP05 version antérieure à 1999

| Questions | Eléments d'analyse |
|---|--|
| Déterminer par le calcul, le volume de HCl ou NaOH de titre précis qu'il faudrait ajouter à 20 mL de la solution choisie pour avoir le rapport [acide] / [base] nécessaire pour former le tampon choisi précédemment. | Modèle numérique |
| Prendre 20 mL de la solution choisie et y ajouter le volume calculé de HCl ou de NaOH puis mesurer la valeur de pH de la solution tampon ainsi formée. | Sous domaine des événements perceptibles |

L'analyse de cette partie de ce TP rejoint ceux que nous avons annoncés précédemment.

A partir des analyses des différentes questions posées dans le texte de la tâche, nous pouvons constater que ces travaux pratiques relèvent principalement des niveaux des modèles géométriques et numériques, aussi des niveaux du monde perceptible, par ailleurs, nous remarquons une absence de mise en jeu du concept de la réaction chimique.

Quand il ne s'agit pas de ces niveaux, par exemple le modèle géométrique ou numérique, alors il s'agit de connaissances explicites qui ne mettent probablement pas en jeu l'événement reconstruit. L'analyse des productions écrites des élèves confirmera cette hypothèse.

I.3. Construction des nouveaux TP

En tenant compte des analyses des anciens textes de TP (TP0) précédents, nous avons reconstruit les nouveaux textes de TP en s'imposant certaines contraintes :

- utiliser les mêmes expériences (même verrerie, mêmes produits chimiques, même réaction chimiques)
- faire en sorte que la durée totale passe de 5 séances de 3 heures à 3 séances de 3 heures (contrainte institutionnelle de l'université)

Notre réflexion s'est donc essentiellement centrée au niveau du travail de réflexion proposé aux étudiants afin qu'ils nous permettent de répondre à nos questions de recherche. Ces nouveaux TP doivent donc : organiser un milieu (au sens de BROUSSEAU) qui permet :

- Que l'étudiant ait une rétroaction vis-à-vis des questions qui lui sont posées,

c'est-à-dire que les expériences réalisées leur ferait changer des points de vue sur les connaissances mise en jeu.

- D'inciter l'étudiant à mettre en relation différents niveaux de connaissances (par des questions de réflexion sur son expérience).

A partir de cette reconstruction, nous avons abouti à 3 nouveaux TP portant sur l'acidité (Tab.13) :

TP1 : Dosage pH-métrique et comparaison des courbes de dosage.

TP2 : Dosage de polyacides.

TP 3 : Dosage d'une dibase et d'un mélange de bases.

Tableau 13 : Récapitulatif sur la construction des TP

| Anciens textes de TP (TP0) | Nouveaux textes de TP |
|----------------------------|-----------------------|
| TP01 | TP1 |
| TP02 | |
| TP05 | |
| TP03 | TP2 |
| TP04 | TP3 |

Ces nouveaux TP ont été validés par plusieurs enseignants appartenant à la Faculté des Sciences de Bizerte (TUNISIE).

II. Méthode de recueil de données

Les données utilisées dans notre recherche ont été récoltées, pour la partie étude de cas, hors classe, et pour la partie statistique en situation réelle d'enseignement.

II.1. Contexte de recueil de données de l'étude statistique

La situation expérimentale étudiée a été conduite dans des conditions réelles d'enseignement plus exactement dans des salles de travaux pratiques de la Faculté des Sciences de Bizerte (TUNISIE).

La situation expérimentale se présente comme suit : nous avons réalisé trois manipulations de travaux pratiques pour les classes de 1^{ère} année MPC (Maths – Physique – Chimie – Informatique) de la Faculté des Sciences de Bizerte. Ces étudiants au nombre de 800 au total, parmi lesquels nous avons travaillé avec 40 binômes, sont âgés de 19 à 23 ans.

Chaque manipulation dure deux semaines c'est-à-dire un groupe de travaux dirigés (TD) est divisé en deux groupes de TP : chaque groupe TP se présente une fois sur deux en séance de TP.

Tous les étudiants d'un même groupe, travaillent généralement par binôme (groupe de deux étudiants), réalisent en même temps les différentes expériences, à chacun son

rythme, et chaque binôme possède le matériel adéquat qui est identique pour tout le groupe.

Le déroulement de ces séances de TP se fait sous le contrôle de l'enseignant, nous lui avons suggéré de ne pas guider les étudiants dans leurs réponses aux questions de chaque TP, le chercheur restant un observateur passif. Nous avons ainsi suivi la réalisation de ces trois manipulations dans une même institution.

II.2. Recueil des données

Nous avons choisi de faire des enregistrements audio et vidéo pour un groupe de deux étudiants et qui seront enregistrés tout au long de ces trois manipulations, pendant la durée totale de chaque TP (3 heures). Aussi, mis à part ces enregistrements, nous avons récolté les productions écrites de l'ensemble des étudiants.

Les groupes des étudiants enregistrés ont été choisis par les enseignants comme des étudiants ayant l'habitude de travailler ensemble et surtout volontaires pour être enregistrés.

II.3. Etude de cas (binôme hors classe)

Des problèmes d'ordre technique n'ont pas permis de réaliser des enregistrements vidéo pendant les TP à l'université aussi nous avons réalisé une situation hors classe, nous avons emmené un groupe de deux étudiants appartenant à la même institution, dans un local spécialisé pour les enregistrements se trouvant à l'Institut Supérieur de l'Education et de la Formation Continue se trouvant à Tunis (TUNISIE). Ces trois manipulations se sont déroulé dans les mêmes conditions de travail à savoir la durée de la réalisation du TP et le matériel, la différence réside dans l'absence d'enseignant, seul le chercheur était présent pendant la collecte des données. Nous avons filmé ces étudiants et enregistré leurs dialogues qui ont été entièrement transcrits. Nous avons aussi récolté le compte-rendu de ces étudiants avec les autres comptes-rendus des 40 binômes.

III. Méthode d'analyse des données recueillies

Les données que nous avons recueillies sont de trois types : Comptes-rendus, des enregistrements audio et vidéo.

III.1. Transcriptions des productions verbales

Cette technique « a l'avantage de décrire assez précisément la démarche des élèves en mettant en lumière l'écart entre l'activité effective des élèves et celle qui est attendue en termes de niveaux de savoir ». (SÉJOURNÉ, 2001)

En premier lieu, nous avons transcrit l'intégralité des interactions du binôme hors classe pendant les trois séances de TP (3 heures pour chaque séance). La notation des pauses implique une indication de durée approximative. Nous avons codé de la manière suivante :

| | |
|-----|--|
| / | Une pause (silence verbal) inférieure à 2 secondes. |
| + | Une pause d'environ 5 secondes. |
| ++ | Une pause d'environ 10 secondes. |
| +++ | Une pause très longue (qui peut être de quelques minutes). |

Concernant le paraverbal : nous avons traduit les intonations les plus fréquentes par des signes conventionnels.

| | |
|---------|--|
| (!) | Exclamation |
| (?) | Question |
| (... ?) | Voix ou parole inaudible, aussi quand les paroles sont incompréhensibles |
| (::) | Prolongement de la fin du mot, suspension |

Concernant les interruptions : l'interruption du discours d'un locuteur par un autre se note \

Pour le bruit et les événements impliquant des personnes extérieures au binôme (intervention du chercheur à la demande des étudiants, par exemple) : hors tâche ou communication (bruits externes, bruits d'autres étudiants...), notés dans la colonne dialogue, la plupart du temps par le terme générique « bruit ».

En ce qui concerne le verbal : toutes les propositions, les bruits verbaux ... sont écrits sans correction de grammaire. Aussi, tout ce qui est dit en arabe a été transcrit de la même manière qu'en français c'est-à-dire selon une écriture phonétique et nous avons écrit la traduction de ces dialogues entre parenthèses.

L'attribution de ces codages dépend de la décision du transcripteur.

En deuxième lieu, chaque transcription a été découpée par tour de parole. Ce choix nous a permis d'organiser la transcription et de numéroter les interventions. La transcription est présentée sous la forme suivante, par exemple :

Tableau 14 : Exemple de transcription

| N° Intervention | Locuteur | Dialogue | Catégories et liens entre les niveaux de savoir | Raison du choix |
|-----------------|----------|--|---|-----------------|
| 1. | N | On trace le point d'équivalence tangente à des courbes | [M.géom , é] | |
| 2. | T | On a interprétation de la courbe avant | [M.géom] | |
| 3. | N | On trace le point d'équivalence après | | |
| 4. | T | lih (oui) on marche petit à petit en suivant la manipulation | | |
| 5. | N | Béhi (bien) | | |
| 6. | T | Interprétation de la courbe / | [M.géom] | |
| 7. | N | On remarque | | |

- Colonne 1, numéro d'intervention : une séquence de numéros de 0 à n, un numéro pour chaque changement de locuteur.
- Colonne 2, locuteur : chaque locuteur a un nom.
- Colonne 3, dialogue : ce qui est dit par les locuteurs.
- Colonne 4, catégories et liens entre les différents niveaux de savoir, registres sémiotiques.
- Colonne 5, raison du choix : explication de notre choix des différents niveaux de savoir.

En troisième lieu, le choix du grain d'un découpage interne à un tour de parole a été décidé arbitrairement en respectant quelques critères :

- Découpage par idée, par unité de sens, lors d'une pause prolongée, suite à une coupure impliquant des actions, par exemple relatives à l'expérience

Tableau 15 : Exemple de découpage fin

Apprentissage des réactions acido-basiques : Mise en évidence et remédiation des difficultés des étudiants lors d'une séquence d'enseignement expérimental

| | | | |
|---|---|------------|--|
| | Dosage pH-métrique et comparaison des courbes de dosage | | |
| 479/N | on a concentration de l'acide cinétique [acétique] reste le même | o | |
| | mais augmentation de la concentration de la soude 01 molaire / | o (o,o) | le « mais » est interprété comme une relation entre les deux o. |
| | comparer cette courbe avec celle correspondant au dosage de la même solution | lit | |
| | | | |
| 528/T | Orzoli (regarde moi) on a effectué un dosage dosage d'un d'une base forte par un acide faible / | * | |
| | NaOH c'est un acide faible ? acide faible ou fort | o | il s'agit ici effectivement d'une préoccupation relative à une propriété d'un objet reconstruit NaOH : cet objet est-il un acide faible ou fort. |
| * Nous pouvons considérer ici que le dosage est un événement perceptible (l'étudiant se remémore ce qu'il a fait), et que ce dosage s'appelle dosage d'une base forte par un acide faible ; nous ne donnons pas de valeur au fait qu'il s'agisse d'une base forte par un acide faible (mais nous pourrions en décider autrement), dans ce cas nous catégorisons simplement (E). | | | |

Si au contraire, nous prenons chaque mot pour ce qu'il est :

« On a effectué un dosage (E) d'une base forte par un acide faible (o) » : il s'agit d'une relation (E,o,o) si nous allons jusqu'à considérer chaque objet.

III.2. Analyse des productions verbales

L'objectif primordial des analyses de productions verbales est d'élucider le fonctionnement des étudiants à partir de leurs interactions verbales à l'aide du cadre théorique. Notre méthode d'analyse des productions verbales se base sur codage suivant les différents niveaux de connaissances mises en jeu dans les productions verbales des étudiants.

Nous avons vu dans le cadre théorique, que le modèle des deux mondes distingue quatre niveaux de connaissances : chaque niveau est divisé en sous niveaux. Cela a été présenté sous forme d'une grille d'analyse (Tab. 16) qui permet de catégoriser toutes les productions verbales.

Tableau 16 : Grille d'analyse des productions des étudiants

| |
|---|
| Niveaux de connaissances |
| Théorie (Th.) - Grandeurs (G) - Concepts autres que grandeurs |
| Modèle (M.) - Modèle numérique (M.num.) - Modèle géométrique (M.géo.) |
| Monde reconstruit - Propriété (p) - Objet (o) - Événement (é) |
| Monde PERCEPTIBLE - PROPRIETE (P) - OBJET (O) - EVENEMENT (E) |

La procédure adoptée pour analyser la production verbale se résume en trois étapes : en premier lieu, l'analyse *a priori* pour chaque TP, ensuite le codage de chaque unité de sens à l'aide de la grille d'analyse présentée ci-dessus (Tab.16) et finalement la comparaison entre la production effective des étudiants et celle attendue.

Concernant le codage, nous avons choisi de ne pas coder une idée qui se répète immédiatement sans modification. En revanche, si l'idée se répète différemment, elle est prise en compte.

Nous avons adopté le point de vue de BÉCU-ROBINAULT (1997) : « les élèves résolvant la tâche en collaboration, il est parfois difficile d'attribuer une activité de modélisation à un élève en particulier. La majorité de ces activités est une résultante de l'interaction entre les élèves ». Nous avons donc considéré la production du binômes d'étudiants comme une unique production (et non comme deux productions).

III.2.1. Représentation des productions verbales

Pour distinguer les liens entre les différents niveaux de connaissance, qui conduisent à décrire le savoir en jeu dans le processus de modélisation, nous avons adopté la procédure suivante : chaque réponse à une question de chaque TP est catégorisée suivant la grille d'analyse présentée auparavant suivant un repère à deux dimensions. Ainsi, l'axe des abscisses rapporte les tours de paroles, sur l'axe des ordonnées les différents niveaux de connaissances.

Cette représentation permet de visualiser en parallèle et chronologiquement le codage selon les niveaux de connaissances. Ce graphique aide à dégager la procédure avec laquelle les étudiants donnent sens au savoir en jeu.

Nous présentons ci-dessous un extrait du corpus (Tab. 17) des productions verbales du binôme hors classe réalisant le TP1 : « Dosage pH-métrique et comparaison des courbes de dosage », 1^{er} dosage : « Dosage de l'acide chlorhydrique par la soude ».

Lors de la réalisation de cette tâche, les étudiants sont amenés à tracer la courbe de titrage relative au dosage de l'acide chlorhydrique par la soude, puis de répondre à la question 3 suivante: « *A quoi correspond la partie de la courbe qui est en dehors des points A et B* ».

Tableau 17: Exemple de codage lors de la tâche du TP1, 1^{er} dosage, question 3

Apprentissage des réactions acido-basiques : Mise en évidence et remédiation des difficultés des étudiants lors d'une séquence d'enseignement expérimental

| | | | | |
|------|---|--|-------------------|-----------|
| 190. | N | Ouih troisième question à quoi correspond la partie de la courbe qui est en dehors des points A et B ? euh les deux on a deux parties dehors de A et B | | III.3 lit |
| 191. | T | Huum ! | | |
| 192. | N | première partie correspond euh euh la réaction est acide deuxième partie | [M.géom ; p ; é] | |
| 193. | T | Identification des parties maintenant ? | | |
| 194. | N | Ouih correspond à la partie + | | |
| 195. | T | Identification des (::) | | |
| 196. | N | des deux parties dehors de A et B / première partie car on a / dehors des deux parties A et B première partie | [M.géom] | |
| 197. | T | première partie + | | |
| 198. | N | première partie est partie acétique | [M.géom ; p] | |
| 199. | T | première partie correspond à / | | |
| 200. | N | La réaction est | [é] | |
| 201. | T | La réaction est acide | [é ; p] | |
| 202. | N | est acide car le pH / | [p (a) ; G.] | |
| 203. | T | le pH varie de (::) | [G. ; M.géom.] | |
| 204. | N | de 1,35 | | |
| 205. | T | à | | |
| 206. | N | après 2 | | |
| 207. | T | juste ka (avant) | | |
| 208. | N | 3 | | |
| 209. | T | 2,3 | | |
| 210. | N | Ouih | | |
| 211. | T | à peu près 2,3 la partie acide la réaction est acide pH inférieur à 7 huum ! | [G. ;M.géom.;é;p] | |
| 212. | N | La deuxième partie deuxième partie / pH | [M.géom,G.] | |
| 213. | T | acide c'est-à-dire pH inférieur à 7 la deuxième partie / la réaction devient basique / | | |
| 214. | N | pH / le pH dans cette partie elle est supérieure à 10,67 | [G.;M.géom] | |
| 215. | T | pH varie peu | G. | |

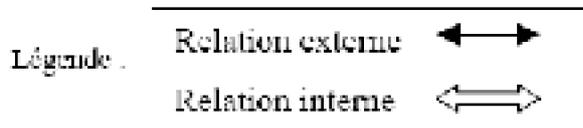
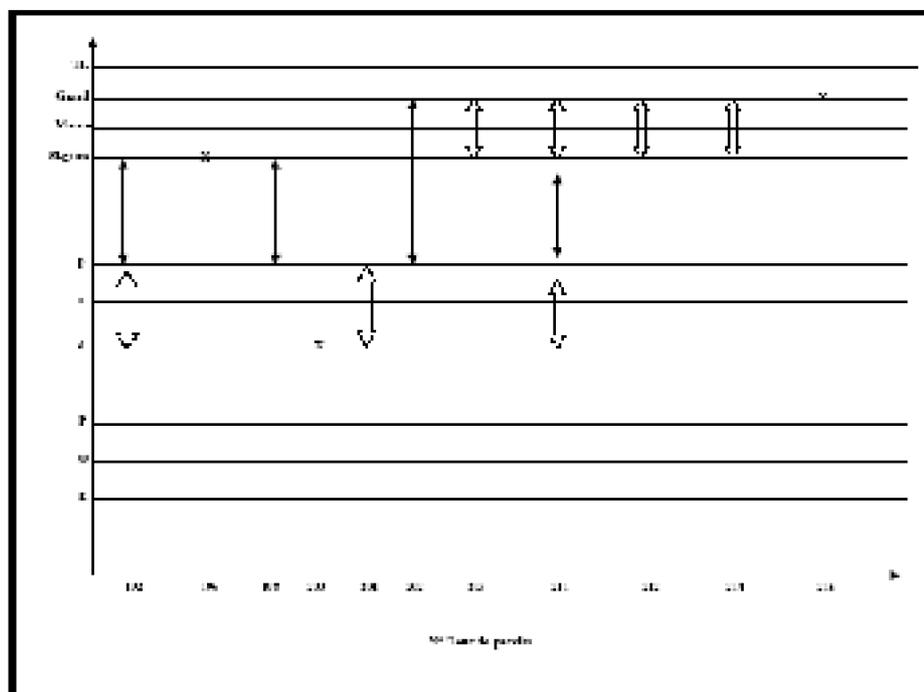


Figure 4: Présentation schématique du codage d'une production verbale pour laquelle nous avons considéré qu'il y avait plusieurs relations à partir des différents niveaux de connaissances

Cette figure (Fig.4) montre que la mise en relation peut être interne à un monde ou externe, c'est-à-dire établissant des relations entre mondes différents. L'hypothèse qui prévaut à cette présentation tient au fait que les concepts en chimie prennent leur sens dans la mise en relation entre les différents niveaux de connaissances.

Cette présentation facilite l'identification des connaissances mobilisées par les étudiants et la manière dont ils les font fonctionner pour chaque tâche.

III.2.2.Comparaison entre l'analyse *a priori* et celle de la production verbale

Pour pouvoir comparer l'analyse *a priori* et celle de la production verbale du binôme enregistré, nous avons procédé ainsi :

Apprentissage des réactions acido-basiques : Mise en évidence et remédiation des difficultés des étudiants lors d'une séquence d'enseignement expérimental

- Pour l'analyse *a priori*, nous présentons les niveaux de connaissances convoqués par chaque question c'est-à-dire les niveaux de connaissances présents dans le texte de la question, ceux à utiliser pour fournir une réponse acceptable au regard du savoir enseigné.
- Pour l'analyse de la production du binôme enregistré, nous présentons les niveaux de connaissances effectivement utilisées, mis en relation ou non.

La figure 5 donne un exemple de représentation de l'analyse *a priori* et le tableau 18, montre la comparaison entre l'analyse *a priori* et la production verbale du binôme à partir du TP1 : « Dosage pH-métrique et comparaison des courbes de dosage », 1^{er} dosage : « Dosage de l'acide chlorhydrique par la soude », et relatif à la question 2 :

« Indiquer la partie de la courbe correspondant à la réaction du dosage. On indiquera sur la courbe le point A du début de cette réaction et le point B de la fin de cette réaction ».

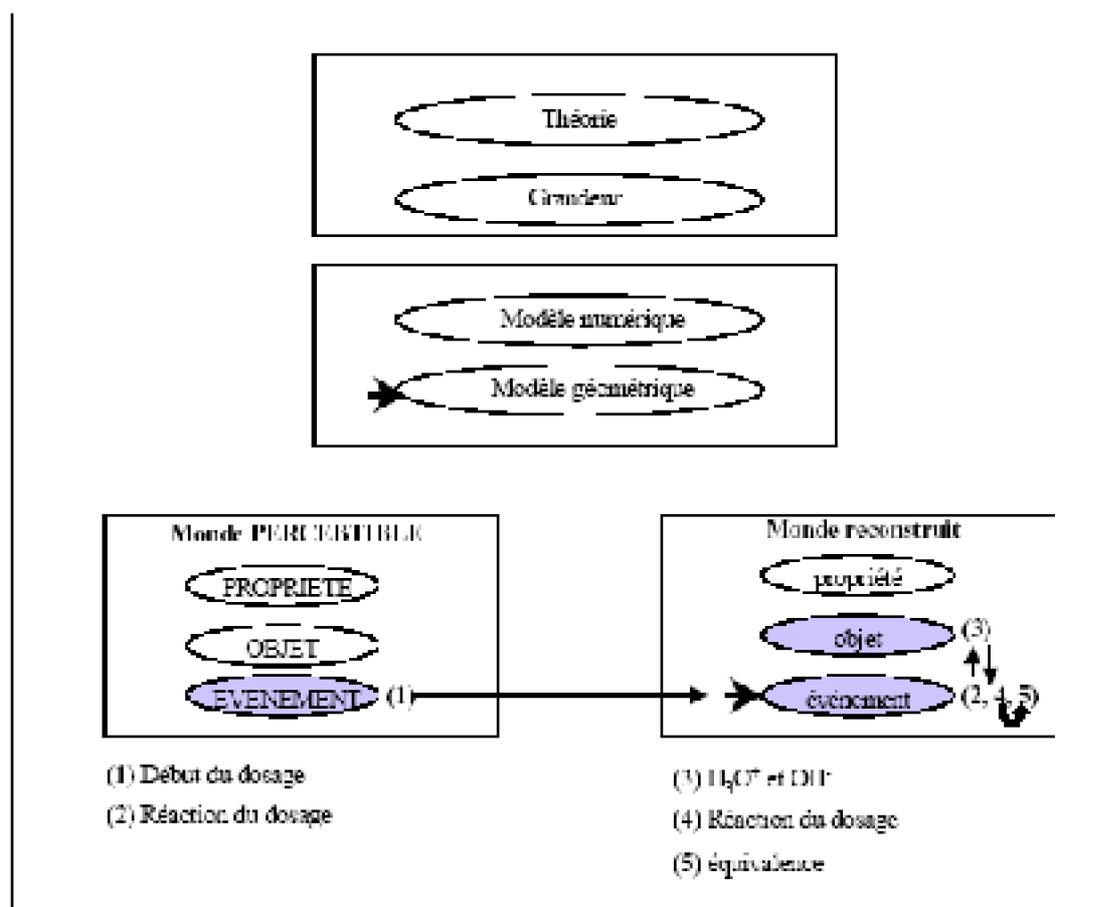
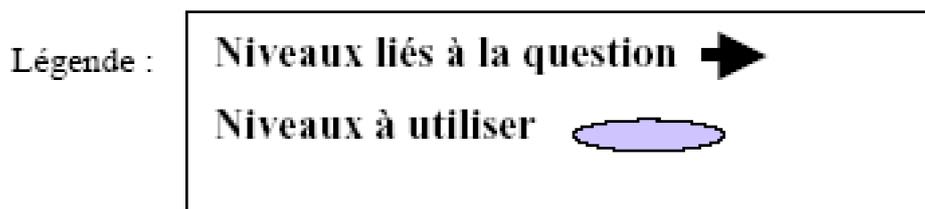


Figure 5: Démarche suivie a priori par l'étudiant, relative au TP1, 1^{er} dosage, question 2

Afin de voir s'il y a eu dévolution et que la situation proposée est effectivement adidactique, nous proposons de porter dans un tableau l'analyse *a priori* de la tâche et la démarche effective du binôme pendant la réalisation de cette tâche.

Tableau 18 : Comparaison entre l'analyse *a priori* et l'activité du binôme, relative au TP1, 1^{er} dosage, question2

| Analyse <i>a priori</i> | Activité du binôme |
|-------------------------|--------------------|
| [E ; é] [o ; é] [é ; é] | [M.géo ; E] |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[E] : événement perceptible

[M.géo] : modèle géométrique

Cet exemple montre que nous pouvons nous attendre à d'autres niveaux mis en œuvre et d'autres liens réalisés qui ne sont pas pris en compte par l'analyse *a priori*.

III.3. Analyse des productions écrites

Afin d'analyser les productions écrites de chaque binôme, nous avons procédé de la même manière que pour l'analyse des productions verbales. Nous avons présenté nos analyses ainsi :

- Chaque réponse à une question posée dans le texte de la tâche est analysée suivant la grille présentée dans le tableau 16 ;
- Nous avons reporté sur un schéma les 40 réponses analysées (avec la grille d'analyse) pour chaque question de chaque TP (Fig.6).

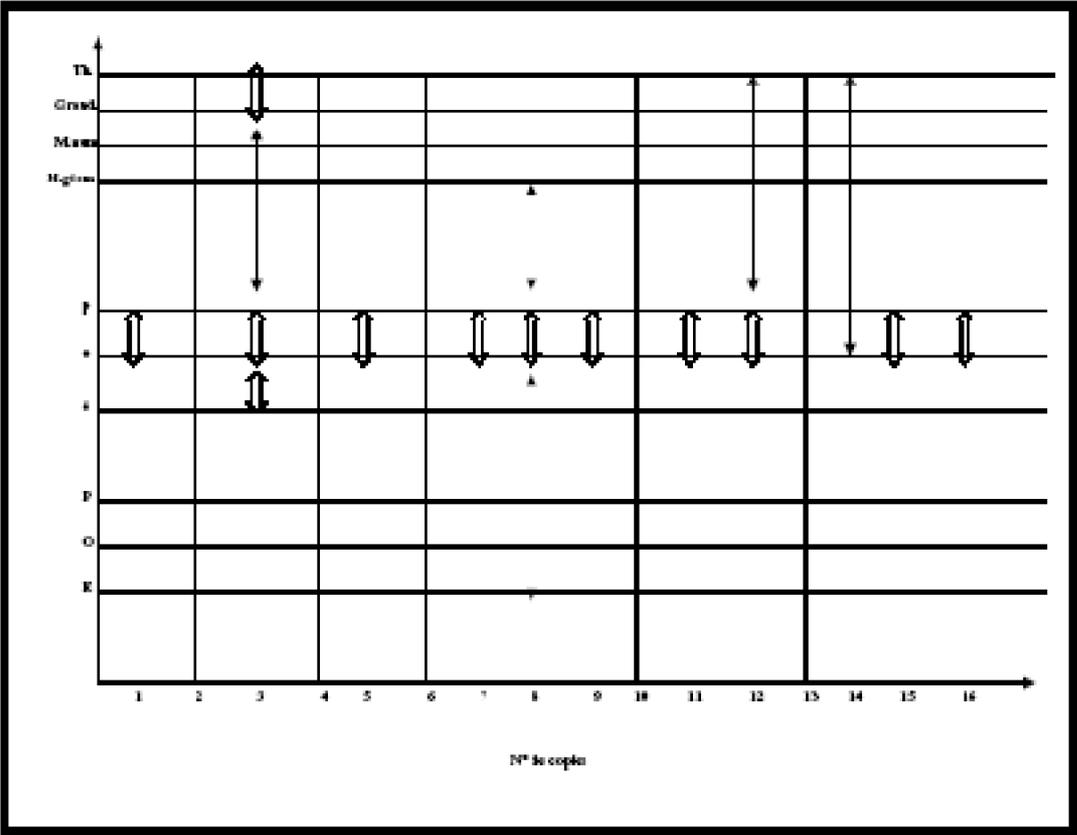
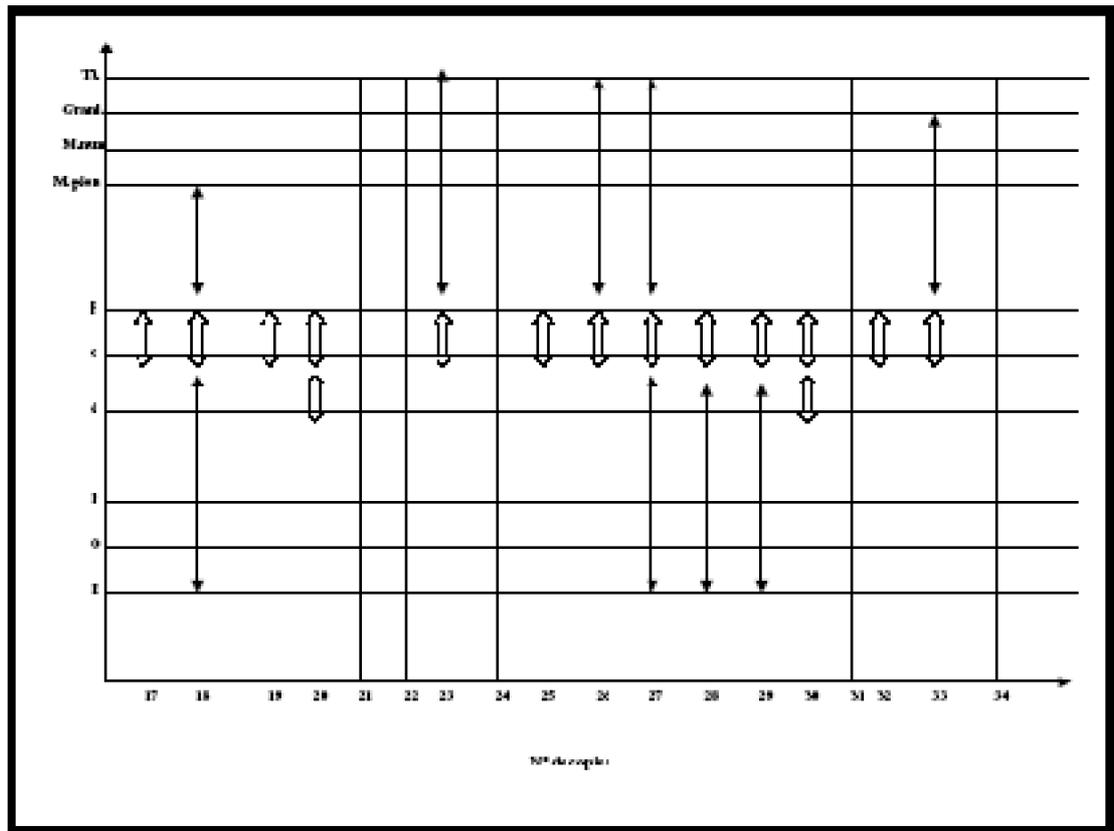
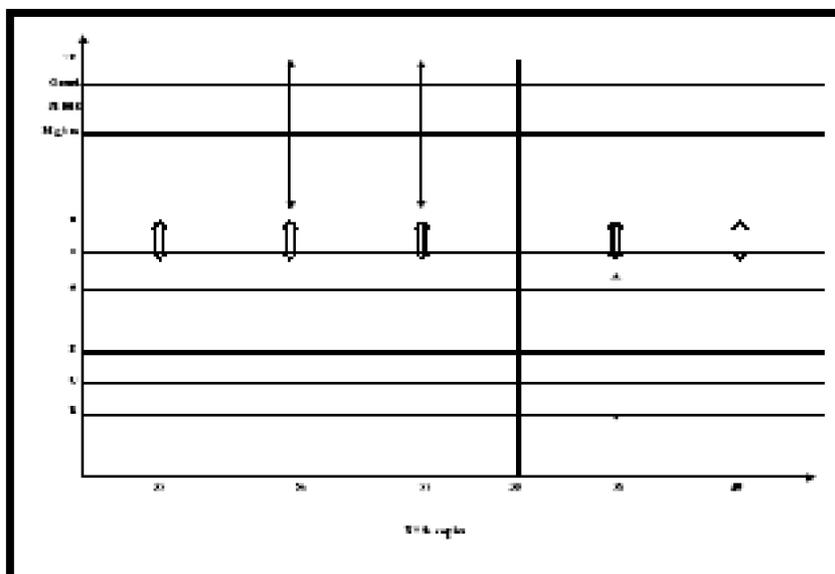


Figure 6: Présentation schématique du codage d'une production écrite relative au TP2, 1^{er} dosage, question 5





Legende :

| | |
|------------------|---|
| Relation externe | ↔ |
| Relation interne | ↔ |
| Pas de réponse | — |

Cet exemple n'est que la représentation schématisée des réponses des 40 binômes à la question 5 : « Que peut-on en déduire concernant le comportement de l'acide sulfurique H_2SO_4 en solution aqueuse ? », du 1^{er} dosage : « Dosage d'une solution aqueuse d'acide sulfurique H_2SO_4 » du TP2 : « Dosage de polyacides ».

Cette présentation nous permet de faire une comparaison entre les différentes réponses fournies par l'ensemble de notre corpus.

Cependant, notre analyse des productions écrites se base sur une comparaison entre les productions écrites de l'ancienne version et de la nouvelle version des TP, vu que nous avons en notre possession que les comptes-rendus des étudiants qui ont suivi les anciennes versions du TP. Lors du recueil des anciens comptes-rendus, nous avons pu avoir uniquement 40 copies pour chacun des TP. Afin de faire une comparaison entre les anciens textes et les nouveaux textes, nous avons choisi le même nombre de copies.

Nous tenons à remarquer que les étudiants qui ont suivi l'ancienne version du TP, ne sont pas les mêmes pour la nouvelle version du TP.

En effet, une autre méthodologie d'analyse s'impose afin de répondre aux deux questions de recherches suivantes :

- (Q₁) : Est-ce que l'ancienne version du TP fait ressortir les difficultés des étudiants vis-à-vis des dosages acido-basiques ?
- (Q₂) : Quelles sont les difficultés qui ressortent de la nouvelle version du TP ?

De ce fait, nous avons procédé de la manière suivante :

- En premier lieu, nous faisons une analyse de comparaison entre les réponses écrites pour les questions identiques dans chaque version du TP. Nous prenons l'exemple (Tab.19) de la question 1 « Ecrire l'équation de la réaction du dosage », relative au TP1 « Dosage pH-métrique et comparaison des courbes de dosage » et du 1^{er} dosage « Dosage de l'acide chlorhydrique par la soude ».

Tableau 19 : Répartition des réponses écrites de l'ancienne version et de la nouvelle version du TP1 selon les niveaux de connaissances, relatif au TP1, 1^{er} dosage, question 1

| Types de liens entre les niveaux de connaissances | Nombre de copies TP01 | Nombre de copies TP1 |
|---|-----------------------|----------------------|
| [o ; é] | 25 (62,5 %) | 33 (82,5 %) |
| [o ; é] [é ; p] | 1 (2,5 %) | 0 (0 %) |
| [o ; é] [o ; p] | 4 (10 %) | 5 (12,5 %) |
| [o ; é] [o ; p] [é ; p] | 0 (0 %) | 2 (5%) |
| Pas de réponse | 10 (25 %) | 0 (0 %) |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

La première colonne du tableau (Tab.19) présente les types de liens que les étudiants ont mobilisés lors de la réponse à la question, dans les deux versions du TP. La deuxième colonne montre le pourcentage relatif à chaque type de lien utilisé par les étudiants dans l'ancienne version du TP, la troisième colonne présente les résultats de la nouvelle version.

- En deuxième lieu, nous présentons les résultats des productions écrites des étudiants relatifs aux questions qui existent uniquement dans la nouvelle version du TP, et qui présentent un intérêt pour notre recherche. Nous traitons l'exemple (Tab.20) de la question 1 « Comparer ces deux courbes en indiquant les différences entre elles, en particulier au début du dosage, puis autour du point d'équivalence », du TP1 « Dosage pH-métrique et comparaison des courbes de dosage » et du 2^{ème} dosage « Dosage de l'acide acétique par la soude ».

Tableau 20 : Répartition de la fréquence d'apparition des types de liens dans les copies, relative au TP1, 2ème dosage, question 1

| Types de liens entre les niveaux de connaissances | Fréquence d'apparition dans les copies |
|---|--|
| [M.géo ; G] | 24 |
| [M.géo; M.géo] | 23 |
| [M.géo ; E] | 21 |
| [M.géo ; é] | 20 |
| [E; o] | 15 |
| [M.géo ; o] | 14 |
| [é ; G] | 12 |
| [G ; p] | 8 |
| [o ; p] | 7 |
| [G ; o] | 6 |
| [E ; G] | 3 |
| [é ; M.num] | 2 |
| [E ; é] | 2 |
| [o ; é] | 2 |
| [E ; E] | 1 |
| [O ; E] | 1 |
| Pas de réponse | 3 |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

[O] : objet perceptible

[E] : événement perceptible

[M.géo] : modèle géométrique

[M.num] : modèle numérique

La première colonne à gauche du tableau 20, montre les différents types de liens entre les niveaux connaissances présents dans l'ensemble des 40 copies, la colonne de droite présente la fréquence d'apparition de chaque type de lien dans la totalité des copies.

Chapitre 3. Analyse *a priori* des 3 séances de TP

L'objectif de ce chapitre est d'analyser *a priori* les activités de modélisation possibles des étudiants lors de la réalisation des différentes tâches appartenant aux 3 séances de TP que nous avons construites (nouveaux textes). Une telle démarche va nous permettre d'identifier l'écart entre l'activité effective des apprenants à celle que nous avons prévue dans l'analyse *a priori*.

Dans cette analyse, nous n'allons pas traiter toutes les questions appartenant à chaque TP, notre choix des questions se base sur l'apport de ces questions sur notre recherche.

L'analyse *a priori* va suivre les mêmes étapes pour chaque question. En premier lieu, nous donnons le texte de la question donné aux étudiants, puis les niveaux de connaissances auxquelles les questions se réfèrent et par la suite les objectifs d'apprentissage. Ensuite nous présentons la réponse du point de vue du savoir savant et à la fin, nous précisons les procédures de réponses que les étudiants pourront présenter ainsi que les niveaux de connaissances que les étudiants doivent mobiliser au minimum et mettre en relation pour donner une réponse acceptable du point de vue du savoir enseigné.

I. Analyse *a priori* du TP1

Du point de vue des étudiants et des enseignants, le but de ce 1^{er} TP est d'effectuer deux dosages pH-métrique : l'un d'un acide fort (acide chlorhydrique) et l'autre d'un acide faible (acide acétique), les deux en présence d'une base forte (soude), puis de faire une étude comparative de l'allure des deux courbes de dosage. L'intérêt de ce TP au point de vue de notre recherche est d'étudier les difficultés des étudiants lors de ces deux dosages et de décrire l'apprentissage des réactions acido-basiques, par les étudiants, à l'aide des niveaux de connaissances mises en jeu dans les diverses situations.

I.1. Dosage de l'acide chlorhydrique par la soude

Dans la partie expérimentale de ce 1^{er} dosage, l'étudiant est amené à réaliser un dosage pH-métrique et de tracer la courbe correspondante à ce dosage (le texte intégral du TP1 se trouve dans l'annexe). La partie réflexion comporte 5 questions, nous allons traiter l'analyse de ces questions suivant la démarche citée ci-dessus :

I.1.1. Question 1

La question adressée aux étudiants était la suivante :

Ecrire l'équation de la réaction du dosage

Cette question met en jeu les objets (entités chimiques) et événements (réaction acido-basique) du monde reconstruit.

L'objectif d'apprentissage de cette question est de décrire le système réactionnel par une équation chimique mettant en jeu les entités chimiques réagissant ensemble.

I.1.1.1. Réponse du point de vue du savoir savant :

vertu de la loi du droit d'auteur.

L'acide chlorhydrique HCl est totalement dissocié en solution qui ne contient donc que des ions H_3O^+ (acides) et Cl^- (ions indifférents). De même, la soude en solution est totalement dissociée en ions Na^+ (indifférents) et HO^- (base forte).

La réaction entre les deux solutions peut se représenter par l'équation :



Cette réaction de neutralisation entre l'acide et la base est une réaction équilibrée, mais pratiquement totale. C'est donc une réaction dont le traitement quantitatif est simple.

I.1.1.2. Activités des étudiants

Pour trouver la réponse à cette question, la démarche suivie par l'étudiant est la suivante : l'étudiant va écrire en premier lieu les différentes entités chimiques présentes en solution, tout d'abord les entités chimiques perceptibles tels que HCl et NaOH (objets perceptibles puisque le texte de TP fait référence à HCl et NaOH) puis ces derniers vont être décomposés en H_3O^+ , Cl^- , Na^+ , HO^- qui vont être catégorisés suivant notre grille d'analyse comme étant des objets reconstruits. La réaction de dosage n'est autre que l'événement qui se produit lorsque la première goutte de la base se mélange avec la solution de l'acide. Nous catégorisons cet événement reconstruit suivant deux étapes : l'étudiant a en sa possession une solution d'acide chlorhydrique et une solution de soude qui sont pour lui des objets perceptibles, ces derniers vont réagir ensemble et se transformer en des objets reconstruits. Le passage du monde perceptible au monde reconstruit nécessite une phase de modélisation de la part de l'étudiant.

Lorsque l'étudiant écrit l'équation de la réaction du dosage, trois niveaux de savoirs doivent être mis en jeu lors de la construction de sa réponse. Tout d'abord, l'étudiant va commencer par déterminer les différentes solutions d'acide et de base (objets perceptibles) puis reconstruit son système chimique en recensant les différentes entités chimiques présentes en solution (objets reconstruits). Ces objets reconstruits vont réagir ensemble, c'est l'événement reconstruit qui a lieu. Quant l'étudiant écrit finalement l'équation du dosage qui n'est autre qu'une représentation schématique de la réaction qui a eu lieu entre l'acide chlorhydrique et la soude, nous supposons qu'il mette en jeu le niveau de la propriété reconstruite (réaction totale) car lors d'un mélange d'un acide fort par une base forte, la réaction de neutralisation est totale.

Afin de répondre à cette question, nous supposons que les étudiants prennent en compte, comme point de départ, les niveaux des objets perceptibles en relation avec le niveau des objets reconstruits, puis le niveau des objets reconstruits va être en lien avec le niveau de l'événement reconstruit (lors de l'écriture de l'équation de la réaction du dosage), puis cet événement reconstruit va être en relation avec le niveau perceptible lors de la description du système chimique.

Nous nous attendons à ce que l'étudiant écrive l'équation de la réaction avec toutes les entités chimiques en solution :



Cela est confirmé par le 1^{er} stade d'évolution pour la construction du concept de réaction chimique de STAVRIDOU & SOLOMONIDOU (1998). A ce stade, l'étudiant part de la

phénoménologie à la compréhension du changement, la réaction chimique représente un événement.

Ils traduisent les manifestations phénoménologiques en un changement des produits initiaux mais ils ignorent complètement le résultat final de chaque transformation.

Nous présentons dans la figure suivante (Fig.7), la démarche suivie par l'étudiant lors de la réponse à la première question. Les numéros se trouvant entre parenthèses correspondent aux étapes que nous avons suivies pour décrire l'activité de modélisation de l'apprenant. Par exemple, comme première étape, l'étudiant fait le lien entre les objets perceptibles (1) et les objets reconstruits (2), puis comme deuxième étape, le lien entre les objets reconstruits (2) et l'événement reconstruit (3), en dernier lieu le lien entre l'événement reconstruit (3) avec la propriété reconstruite (4). Les flèches représentent le lien entre les différents niveaux. A côté de chaque numéro, nous donnons les termes codés suivant les niveaux de connaissances : par exemple, les objets perceptibles (1) sont HCl et NaOH (ce que l'étudiant voit sur le texte du TP).

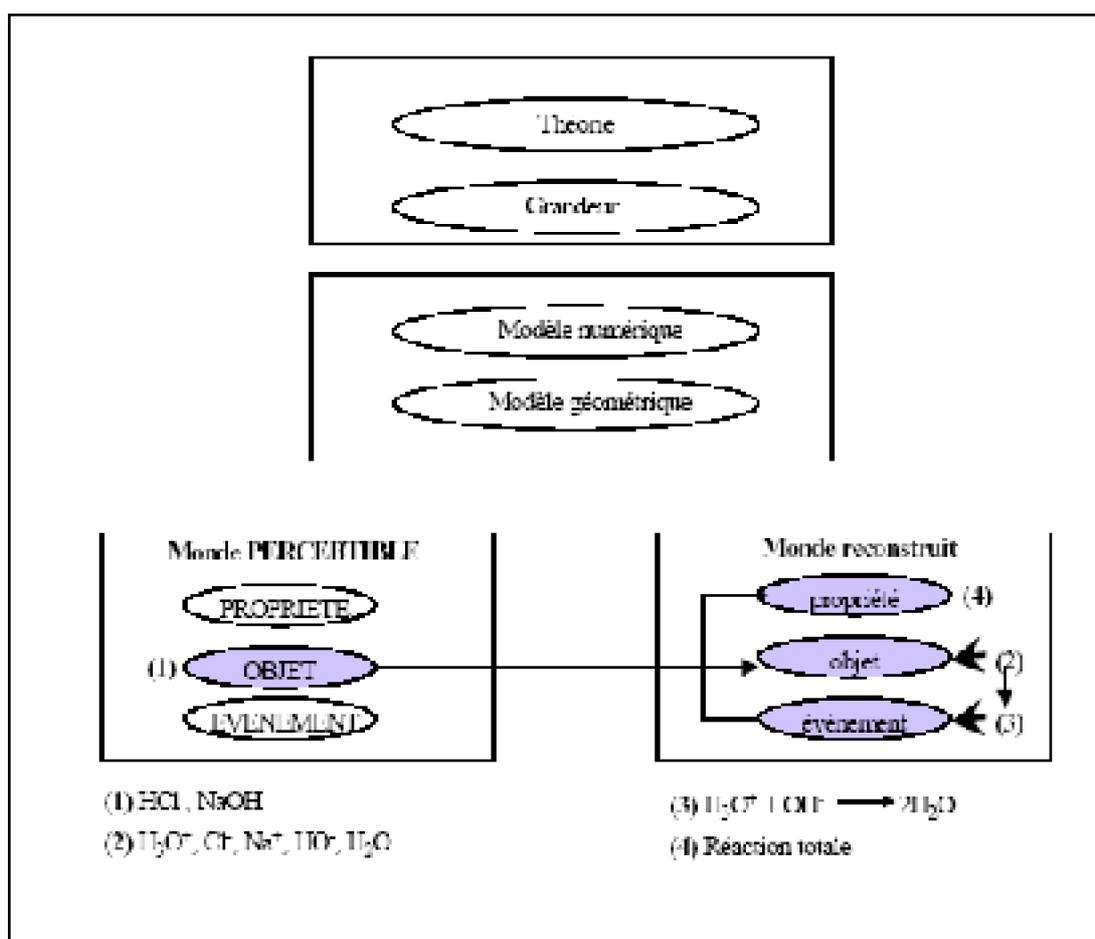
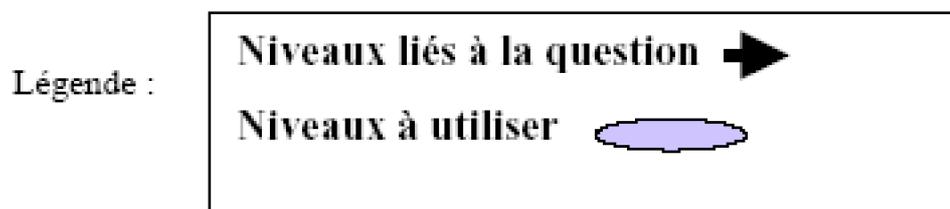


Figure 7: Démarche suivie par l'étudiant lors de la réponse à la question 1



I.1.2. Question 2

La question adressée aux étudiants était la suivante :

Indiquer la partie de la courbe correspondante à la réaction du dosage. On indiquera sur la courbe le point A du début de cette réaction et le point B de la fin de cette réaction.

La question met en jeu le niveau du modèle géométrique (courbe du dosage) et le niveau des événements (réaction du dosage) dans le monde reconstruit.

L'objectif d'apprentissage de cette question était de permettre l'utilisation d'un modèle géométrique pour interpréter l'expérience réalisée tout en donnant du sens au concept de réaction chimique.

I.1.2.1. Réponse du point de vue du savoir savant

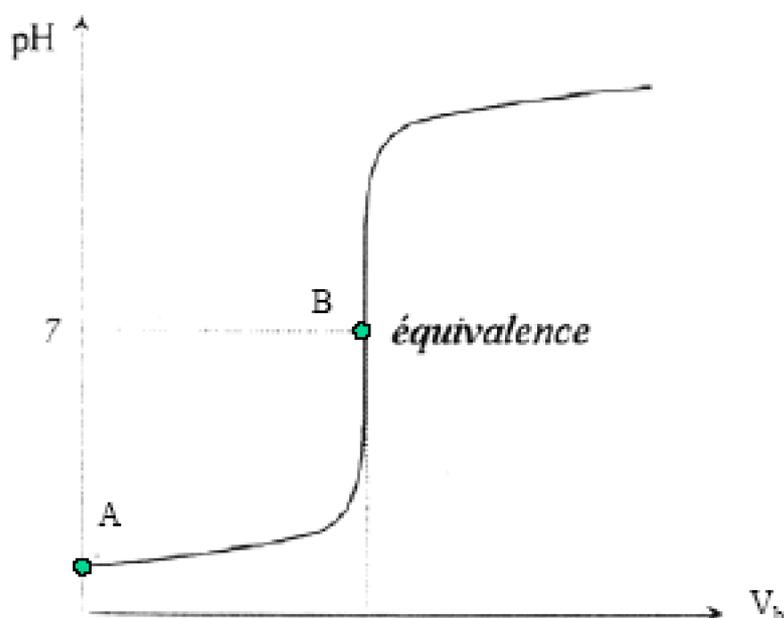


Figure 8 : Courbe de neutralisation de l'acide chlorhydrique par la soude

La courbe de neutralisation (Fig.8) représente la variation du pH au cours de

l'addition progressive de soude à une solution d'acide chlorhydrique.

La réaction du dosage est la suivante : $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{HO}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

Le point A de la figure 8 représente le début du dosage. Il correspond aussi au début de la réaction du dosage. Par contre le point B est appelé point d'équivalence, qui correspond à un volume ajouté de la solution basique (Véq) tel qu'il a apporté une quantité de base équivalente (selon l'équation stœchiométrique) à la quantité d'acide initialement présent : 1 mole pour 1 mole dans le cas d'un monoacide et d'une monobase. Le point B indique la fin de la réaction du dosage.

I.1.2.2. Activités des étudiants

La question posée aux étudiants relève d'un problème nouveau dans les TP de chimie. Elle vise à amener les étudiants à prendre en charge la résolution de la tâche de part l'intérêt qu'elle apporte, vu qu'elle est une innovation et que sa réponse se trouve d'une manière implicite dans les livres de chimie.

Cependant, nous émettons l'hypothèse que la réponse de la plupart des étudiants à cette question va associer la réaction du dosage à un événement perceptible qui peut être le saut de pH.

Nous nous appuyons sur les 2 premiers stades d'évolution de STAVRIDOU & SOLOMONIDOU (1998), au niveau du 1^{er} stade, certains étudiants ne comprennent pas que la réaction chimique est un changement mais il l'associe à un événement avec des manifestations phénoménologiques par exemple : le saut de pH. Par contre au 2^{ème} stade d'évolution de la construction du concept de réaction chimique (1+1 donne quelque chose d'autre), deux points essentiels seront pris en considération par les apprenants :

- L'existence de deux produits initiaux : quelques étudiants développent des critères personnels pour l'identification de la réaction chimique. Pour les apprenants, la réaction chimique a lieu quand ils ont deux réactifs à l'état initial.
- Des nouveaux produits qui se forment : d'autres étudiants pensent qu'une réaction chimique résulte en un nouveau produit qui se forme mais ils comprennent que ce nouveau produit formé est basé sur des critères du sens commun par exemple : le nouveau produit formé est simplement quelque chose de différent du produit initial. Pour la réaction acido-basique la difficulté des apprenants se manifeste quand le produit de la réaction est l'eau, car il a deux statuts (solvant et produit), ce qui ne les aide pas à comprendre la réaction acido-basique.

Cependant, nous supposons que la démarche suivie par l'étudiant va suivre les étapes suivantes, tout en s'appuyant sur le savoir savant (Fig.9) : le début du dosage va correspondre au début de la réaction, il s'agit d'un lien entre l'événement perceptible et l'événement reconstruit, la deuxième étape consiste à faire le lien entre les entités chimiques en solution et la réaction du dosage, c'est-à-dire que les ions H_3O^+ vont réagir avec OH^- , la fin de la réaction du dosage provient à l'équivalence, c'est un lien entre deux événements reconstruits.

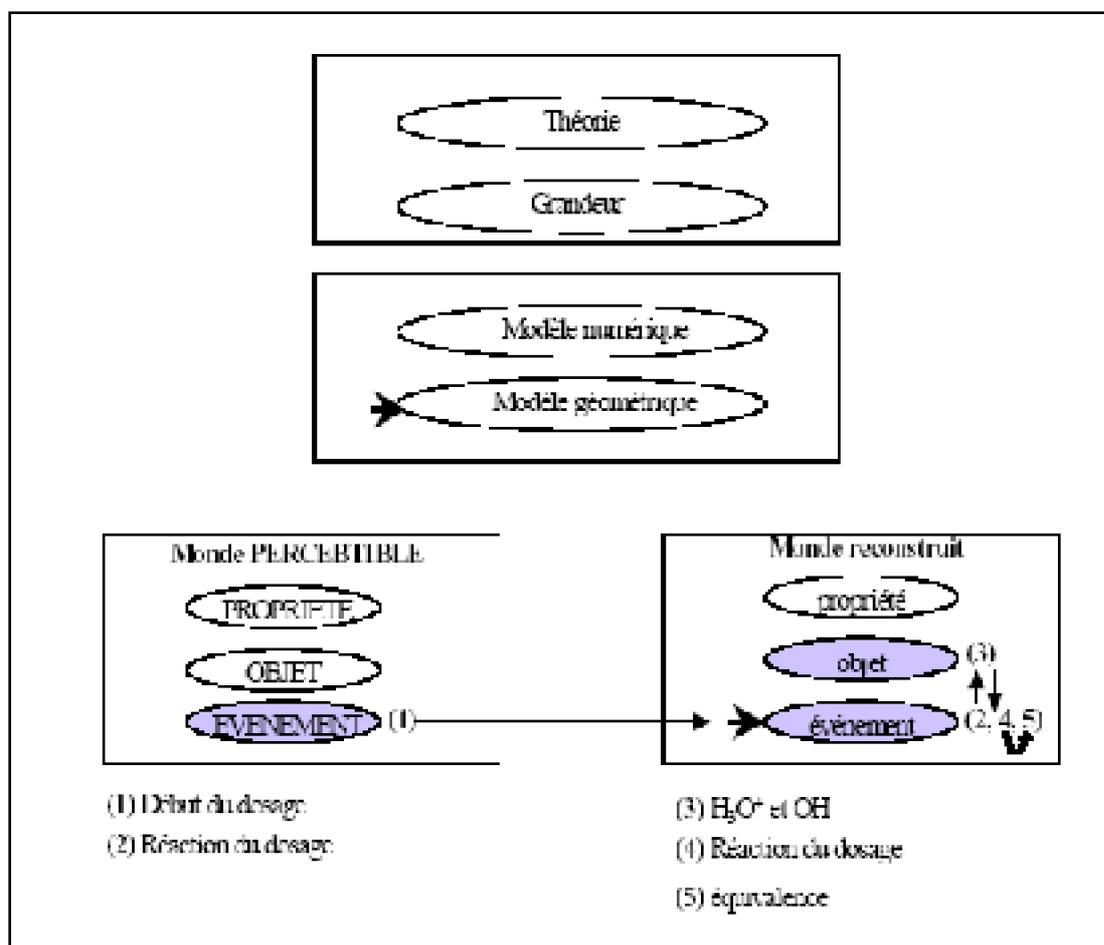
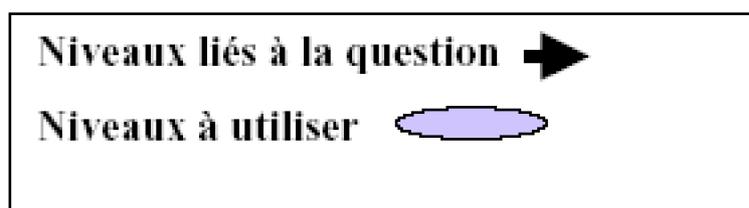


Figure 9 : Démarche suivie par l'étudiant lors de la réponse à la question 2

Légende :



I.1.3. Question 3

La question adressée aux étudiants était formulée de la manière suivante :

A quoi correspond la partie de la courbe qui est en dehors des points A et B ?

Cette question met en jeu le niveau du modèle géométrique (courbe du dosage).

L'objectif d'apprentissage de cette question complète celui de la question précédente, tel qu'il confirme la prédiction effectuée préalablement.

I.1.3.1. Réponse du point de vue du savoir savant

La partie de la courbe qui est en dehors des points A et B correspond à un ajout de soude. Après l'équivalence, ce qui se passe correspond à la dilution de la base ajoutée dans l'eau.

I.1.3.2. Activités des étudiants

Cette question se fonde sur les résultats obtenus à la question précédente. En demandant la signification de la partie de la courbe qui est en dehors des points A et B, la question incite les étudiants à réfléchir à la réponse donnée à la question précédente. Le terme " *la partie* " indique bien évidemment qu'il n'existe qu'une seule partie de la courbe en dehors des points A et B.

Toutefois, à partir de l'hypothèse que nous avons émise lors de la question précédente et tout en s'appuyant sur les deux premiers stades d'évolutions de STAVRIDOU & SOLOMONIDOU (1998), nous supposons que la réponse de l'étudiant à cette question, qu'il y aura deux parties en dehors des points A et B. Leur réponse se base sur leurs connaissances antérieures de la 4^{ème} secondaire (niveau terminal), à savoir que dans le manuel scolaire à ce niveau d'enseignement, la courbe de dosage est décrite avec une description géométrique : la courbe présente trois parties distinctes, telle que dans la 1^{ère} partie : la courbe pratiquement une droite de pente faible, concavité dirigée vers le haut, dans la 2^{ème} partie : la courbe devient pratiquement verticale avec changement du sens de la concavité (point d'inflexion E) et dans la 3^{ème} partie : la courbe est pratiquement une droite de pente faible.

Nous supposons que la démarche de l'étudiant pour retrouver la réponse à cette question, tout en s'appuyant sur le savoir savant est la suivante (Fig.10) : au point B, c'est-à-dire à l'équivalence (événement reconstruit), le nombre de moles (grandeur) des ions H_3O^+ (objets reconstruits) est égal au nombre de moles des ions HO^- , ce qui engendre un milieu neutre (propriété reconstruite). Toutefois, après l'équivalence (événement reconstruit), le pH (grandeur) de la solution augmente ce qui indique que le milieu est basique (propriété reconstruite).

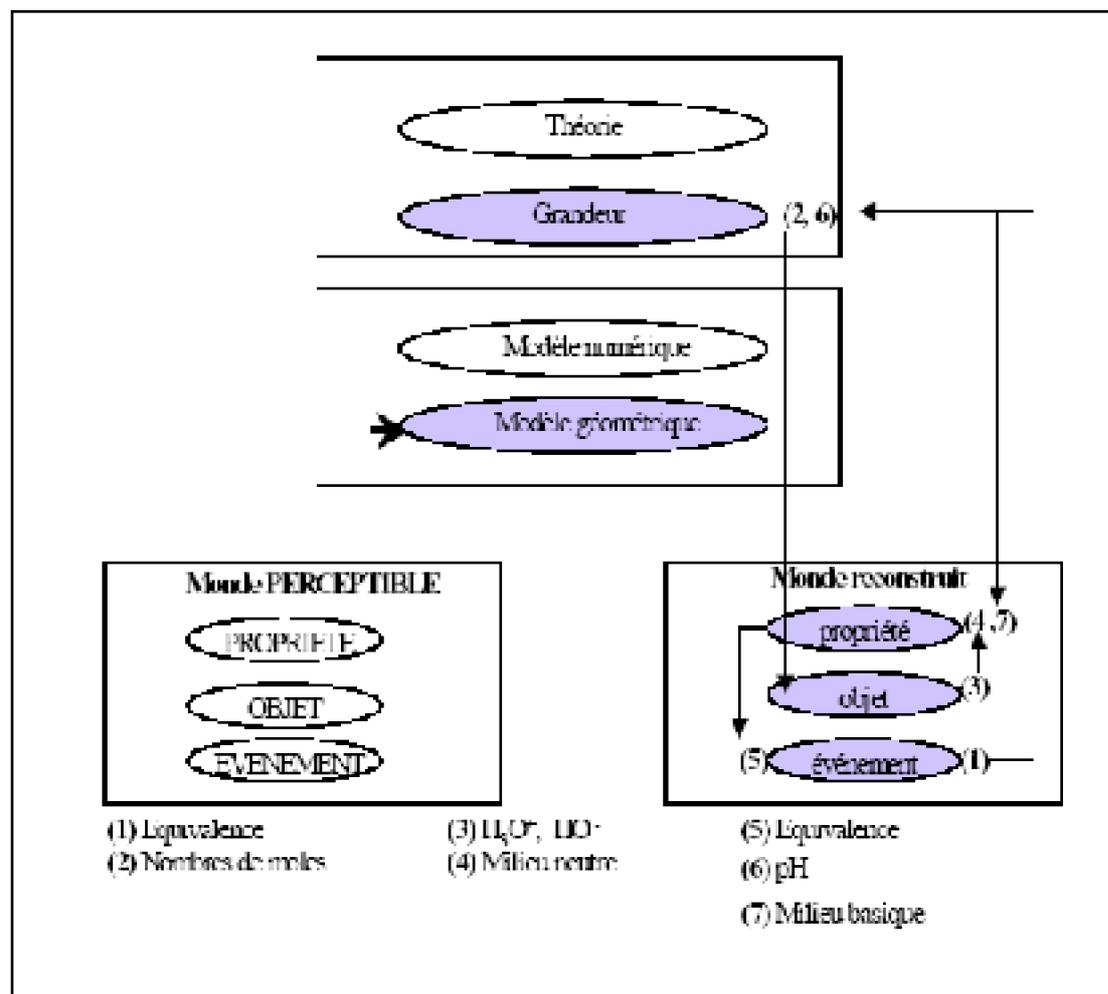
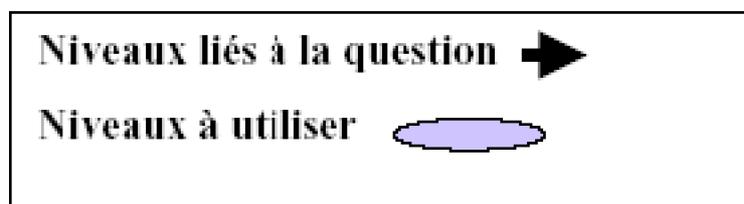


Figure 10 : Démarche suivie par l'étudiant lors de la réponse à la question 3

Légende :



I.1.4. Question 4

La question adressée aux étudiants était la suivante :

Ecrire les relations permettant de déterminer la valeur de la concentration de la solution titrée à partir des données expérimentales.

Cette question est classique dans les tâches impliquant des dosages acido-basiques. Nous demandons aux étudiants d'écrire les relations qui leur permettent de déterminer la valeur de la concentration de la solution titrée à partir des données expérimentales qui sont en leur possession. Les niveaux auxquels se réfère cette question sont le niveau grandeur (concentration), le niveau de l'objet perceptible (solution titrée) et le niveau du modèle numérique (les relations).

L'objectif d'apprentissage relatif à cette question est de faire des liens qualitatifs entre les grandeurs.

I.1.4.1. Réponse du point de vue du savoir savant

A l'équivalence, le nombre de moles des ions H_3O^+ est égal au nombre de moles des ions HO^- , le volume à l'équivalence est donné par la courbe de titrage.

Etant donnée que le nombre de moles est égal au produit de la concentration et du volume, la relation qui en découle est la suivante :

$$n_{\text{H}_3\text{O}^+} = n_{\text{HO}^-} \text{ donc } C_A V_A = C_B V_B \text{ et } C_A = C_B V_B / V_A$$

I.1.4.2. Activités des étudiants

Nous supposons que la démarche (Fig.11) suivie par l'étudiant pour trouver la réponse à cette question sera la même que celle du savoir savant, vu que cette question est très classique dans les dosages acido-basiques.

Afin de répondre à cette question, nous prévoyons qu'au début, l'étudiant va donner le volume (grandeur) à l'équivalence (événement reconstruit) puis il va donner le lien entre les grandeurs (nombres de moles) et les objets reconstruits (H_3O^+ et HO^-) et à la fin de sa démarche, l'étudiant va écrire la relation à l'équivalence qui lui permet de faire des calculs (modèle numérique)

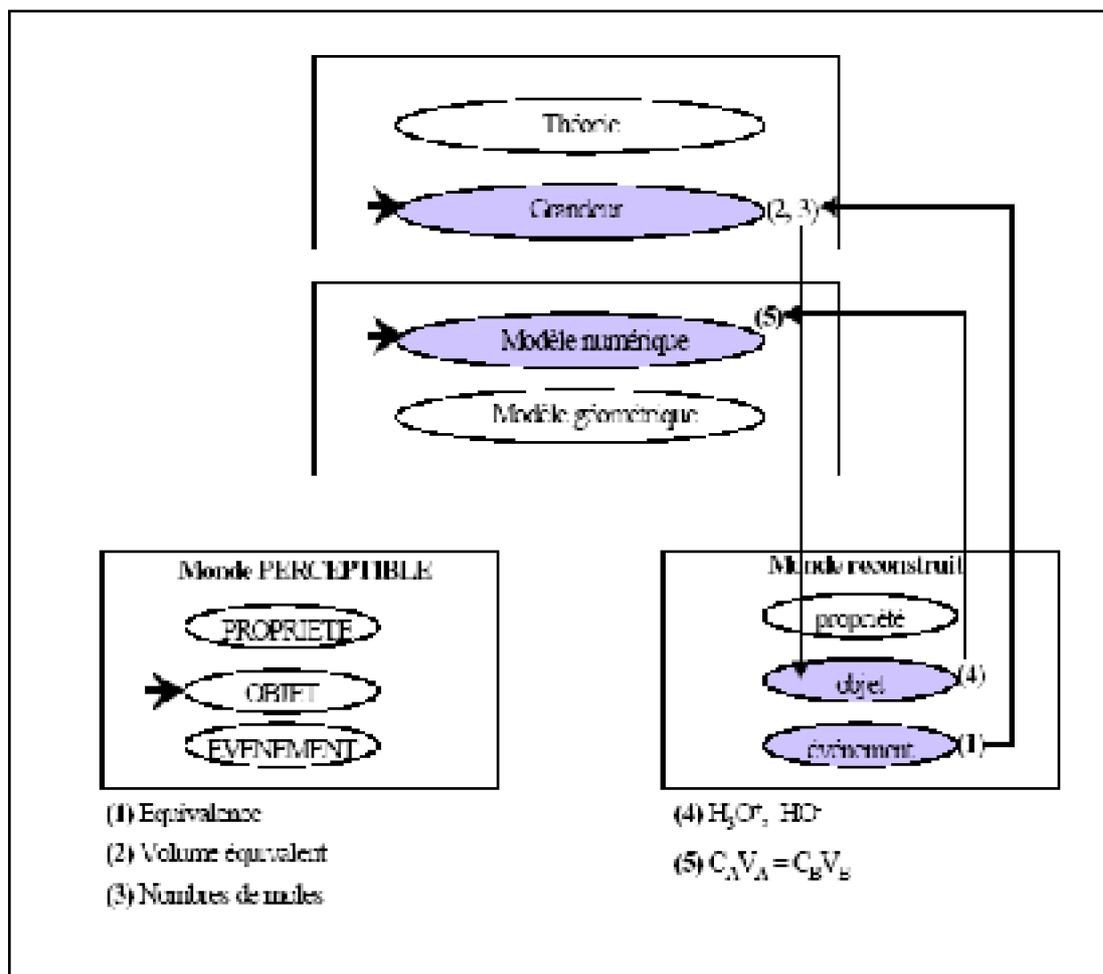
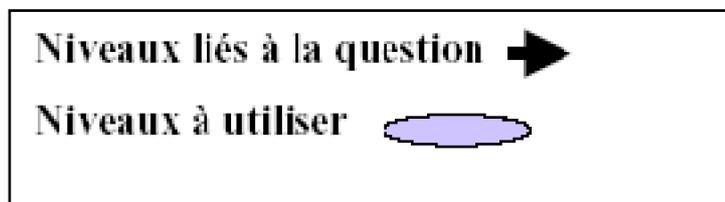


Figure 11 : Démarche suivie par l'étudiant lors de la réponse à la question 4

Légende :



I.1.5. Question 5

La question adressée aux étudiants était formulée de la manière suivante :

Déterminer les concentrations molaire et massique de la solution à doser.

Ce type de question est usuel en chimie, elle met en jeu le niveau de grandeur (concentration molaire et massique), le niveau de l'objet perceptible (solution à doser) et le modèle numérique.

L'objectif d'apprentissage relatif à cette question, est de faire des liens quantitatifs entre des grandeurs mesurables (volume) et des grandeurs non mesurables (nombres de moles et concentrations)

I.1.5.1. Réponse du point de vue du savoir savant

Cette question complète la précédente, après avoir écrit les relations permettant de déterminer la valeur de la concentration de la solution titrée à partir des données expérimentales, nous écrivons aussi les relations qui permettent de passer d'une concentration molaire à une concentration massique.

Cependant, la concentration molaire est le rapport entre le nombre de moles et le volume de la solution, exprimée en mol.L^{-1} , par contre la concentration massique est le rapport entre la masse du soluté par le volume de la solution, exprimée en g.L^{-1} .

$$C_M \text{ (concentration molaire)} = n / V \text{ et } C_m \text{ (concentration massique)} = m / V$$

Après avoir calculer la concentration molaire $C_M = C_B V_B / C_A$, la concentration massique sera égal à $C_m = C_M \times M$, sachant que le nombre de mole de l'acide est égal au rapport de sa masse par la masse molaire moléculaire.

I.1.5.2. Activités des étudiants

Etant donné qu'aucune étude n'a été faite sur ce type de question, nous supposons que la démarche (Fig.12) suivit par l'étudiant sera pareille à celle du savoir savant : l'étudiant va calculer la concentration molaire (grandeur) à partir de la relation $CAVA = CBVB$ (modèle numérique) puis, il va déterminer la relation entre la concentration (grandeur) molaire et la concentration massique et à la fin, il fait le calcul (modèle numérique) de la concentration massique.

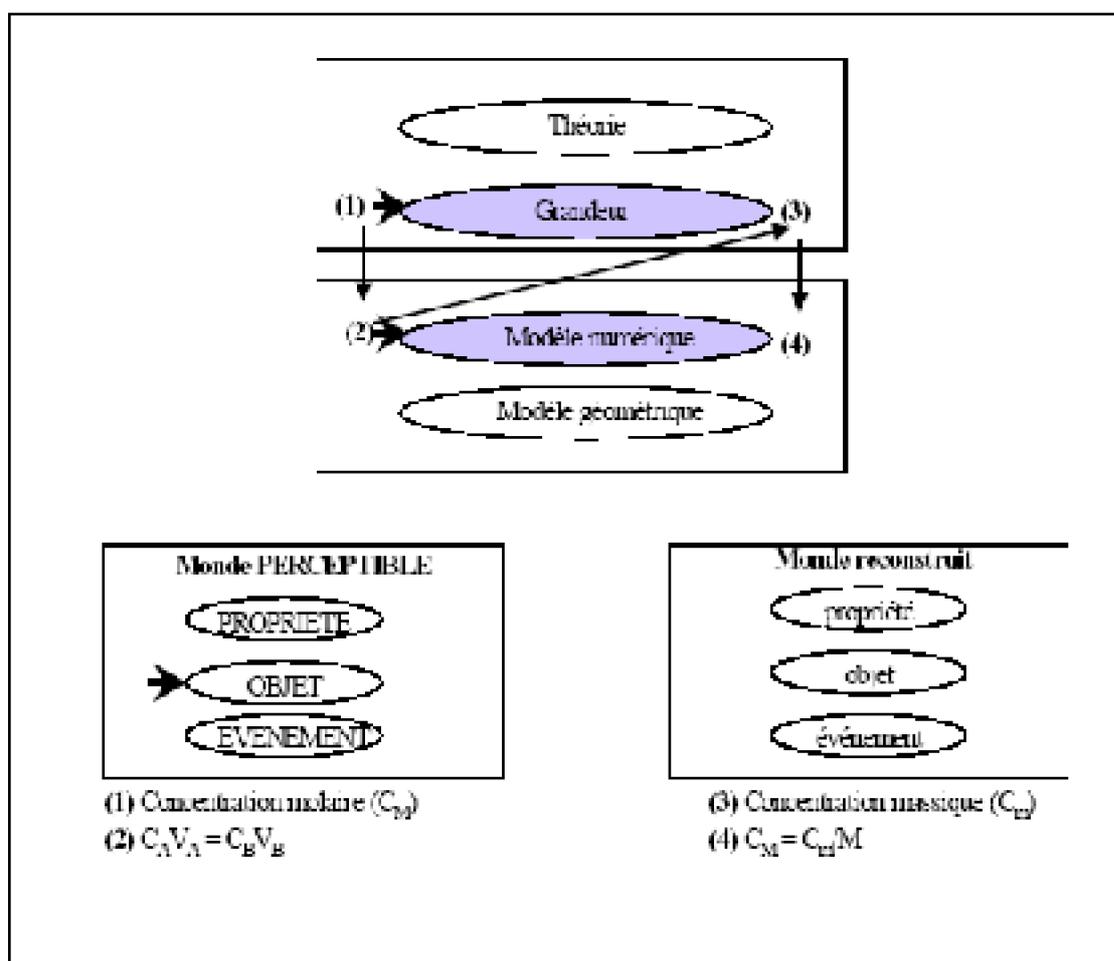
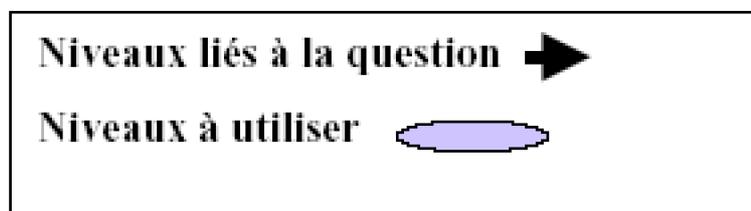


Figure 12 : Démarche suivie par l'étudiant lors de la réponse à la question 5

Légende :



I.2. Dosage de l'acide acétique par la soude

Dans la partie expérimentale du 2^{ème} dosage, l'étudiant est amené à réaliser un dosage pH-métrique en présence de deux indicateurs colorés et de tracer la courbe correspondante à ce dosage. La partie réflexion comporte 5 questions, nous allons traiter

l'analyse uniquement des questions qui portent un intérêt pour notre recherche.

I.2.1. Question 1

La question adressée aux étudiants était la suivante :

Comparer ces deux courbes en indiquant les différences entre elles, en particulier au début du dosage, puis autour du point d'équivalence.

Cette question se réfère au modèle géométrique (courbes du dosage), mais également au niveau d'événement du monde reconstruit (point d'équivalence) et le niveau de l'événement du monde perceptible (dosage).

L'objectif d'apprentissage de cette question, est de dégager les propriétés d'un acide fort et d'un acide faible à l'aide des courbes du dosage.

I.2.1.1. Réponse du point de vue du savoir savant

Les différences entre les courbes du dosage d'un acide fort et d'un acide faible sont très pertinentes : si nous prenons en premier lieu le début du dosage pour un acide fort, le pH augmente peu et la courbe est d'abord pratiquement une droite alors que pour le cas d'un acide faible, au début du dosage le pH accuse une augmentation assez perceptible puis au fur et à mesure que nous ajoutons la base l'augmentation du pH devient plus faible ; nous constatons aussi un léger changement de courbure pour un point très particulier pour cette courbe : ce point correspond à la demi-équivalence.

Cette zone correspond à une zone tampon où le pH de ce mélange est égal au pKa.

Concernant la différence des deux courbes autour du point d'équivalence, pour un dosage d'acide fort nous constatons une variation brusque du pH et la courbe devient pratiquement verticale c'est la neutralisation totale ; ce saut de pH est moins important que celui que nous observons dans le cas d'un acide faible.

I.2.1.2. Activité des étudiants

Afin de répondre à cette question, nous supposons que la démarche de l'étudiant (Fig.13) va suivre les étapes suivantes en se basant sur le savoir savant :

Au début l'étudiant va établir des relations entre le début du dosage et les courbes du dosage de l'acide chlorhydrique et de l'acide acétique : il s'agit d'un lien entre l'événement perceptible, le modèle géométrique et les objets reconstruits. Comme deuxième étape, l'étudiant peut faire le lien entre la grandeur et l'objet reconstruit pour expliquer que le pH augmente peu au début du dosage pour l'acide chlorhydrique alors que pour le cas de l'acide acétique, le pH augmente d'une façon beaucoup plus importante : il s'agit ici d'un lien entre la grandeur (pH) et les objets reconstruits (acide chlorhydrique et acide acétique). En troisième étape, nous supposons que l'apprenant perçoit, pour l'acide acétique, la zone de demi-équivalence auquel le pH varie : donc l'apprenant peut établir le lien entre l'événement reconstruit (demi-équivalence) et la grandeur (pH).

Quant à la différence des deux courbes (modèle géométrique) au niveau du point d'équivalence (événement reconstruit), l'étudiant peut établir le lien entre l'événement

reconstruit et les objets reconstruits présents dans chaque solution à l'équivalence : il s'agit d'un lien entre l'état d'équivalence et les entités chimiques présentes. Ensuite, l'étudiant peut faire le lien entre l'événement reconstruit (équivalence) et la propriété reconstruite (neutralisation totale). A la fin de sa démarche, nous supposons que l'attention de l'étudiant va se centrer sur le saut de pH (événement perceptible) au niveau de l'équivalence (événement reconstruit).

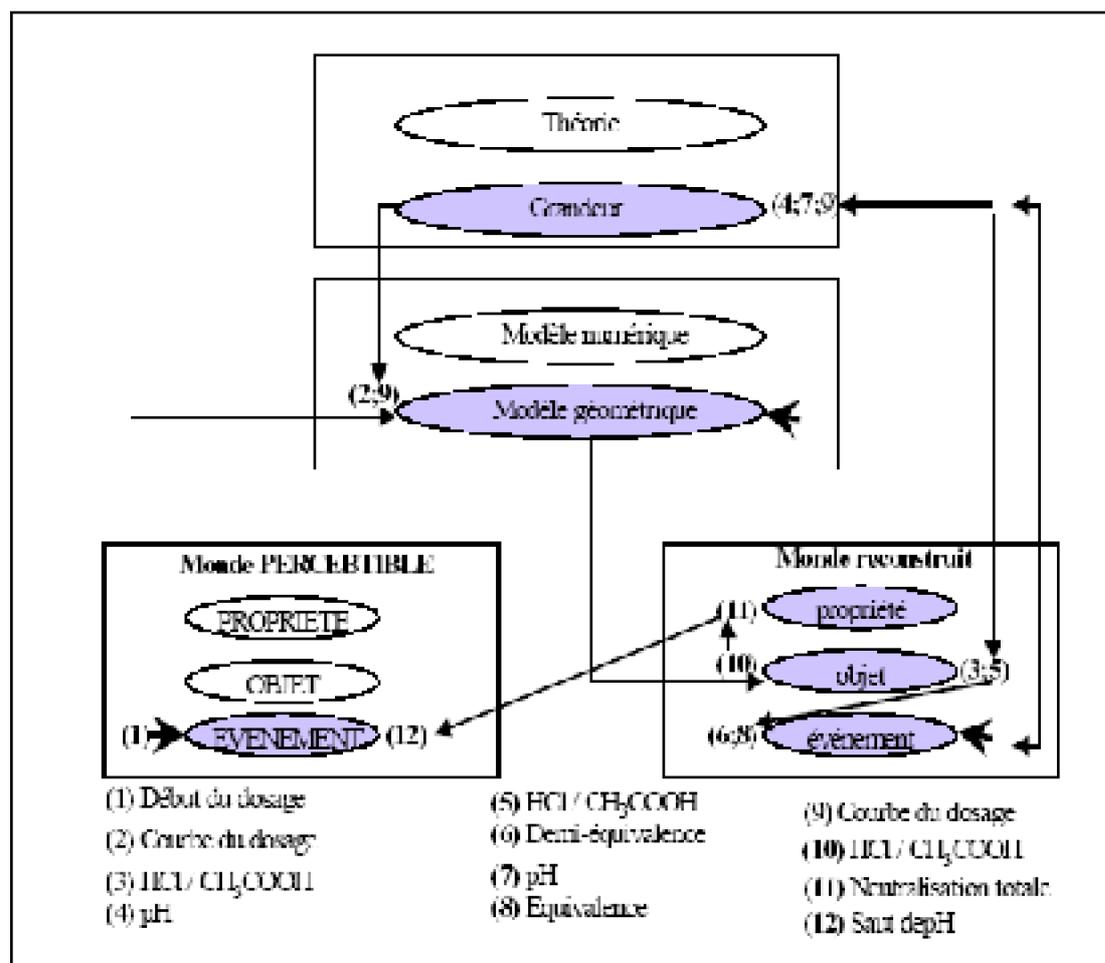
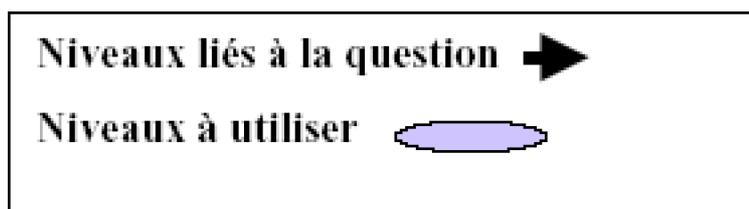


Figure 13 : Démarche suivie par l'étudiant lors de la réponse à la question 1

Légende :



I.2.2. Question 2

La question adressée aux étudiants était formulée de la manière suivante :

La courbe obtenue permet-elle de déterminer la concentration de l'acide acétique si elle est inconnue ? Justifier la réponse.

Cette question déstabilise l'étudiant concernant le but recherché lors de la réalisation d'un dosage. En demandant si la courbe permet de déterminer la concentration de l'acide si elle est inconnue, la question met en jeu le niveau des grandeurs (concentration), le niveau objet du monde reconstruit (l'acide acétique) et le modèle géométrique (courbe du dosage).

L'objectif d'apprentissage de cette question, est de permettre à l'apprenant de faire de faire un lien entre les phénomènes observables et le niveau des grandeurs.

I.2.2.1. Réponse du point de vue du savoir savant

A l'équivalence, il faut considérer que le système est équivalent à une solution de base conjuguée CH_3COO^- , donc le $\text{pH} = 7 + \frac{1}{2} (\text{pK}_a + \log C)$. Le pH sera déterminé graphiquement à partir de la courbe, et à partir de la formule de pH, nous pouvons déterminer la concentration de l'acide acétique si elle est inconnue.

I.2.2.2. Activités des étudiants

Nous supposons que la démarche (Fig.14) suivie par l'étudiant pour répondre à cette question du point de vue du savoir savant est la suivante : au départ, l'étudiant va déterminer le point d'équivalence (événement reconstruit) et le pH (grandeur) à ce point. La valeur du pH va lui indiquer la nature (propriété reconstruite) du milieu réactionnel et de recenser les entités chimiques présentes (objets reconstruits). A partir de ce raisonnement, l'étudiant fait une réflexion sur la réaction chimique (événement reconstruit), qui va lui permettre de réfléchir sur la concentration de l'acide acétique, il s'agit d'un monoacide donc la concentration (grandeur) de l'acide CH_3COOH (objets reconstruits) est égale à celle de CH_3COO^- . Par la suite à partir de la formule (modèle numérique) du pH pour une solution de base conjugué, l'étudiant peut déterminer la concentration de l'acide acétique.

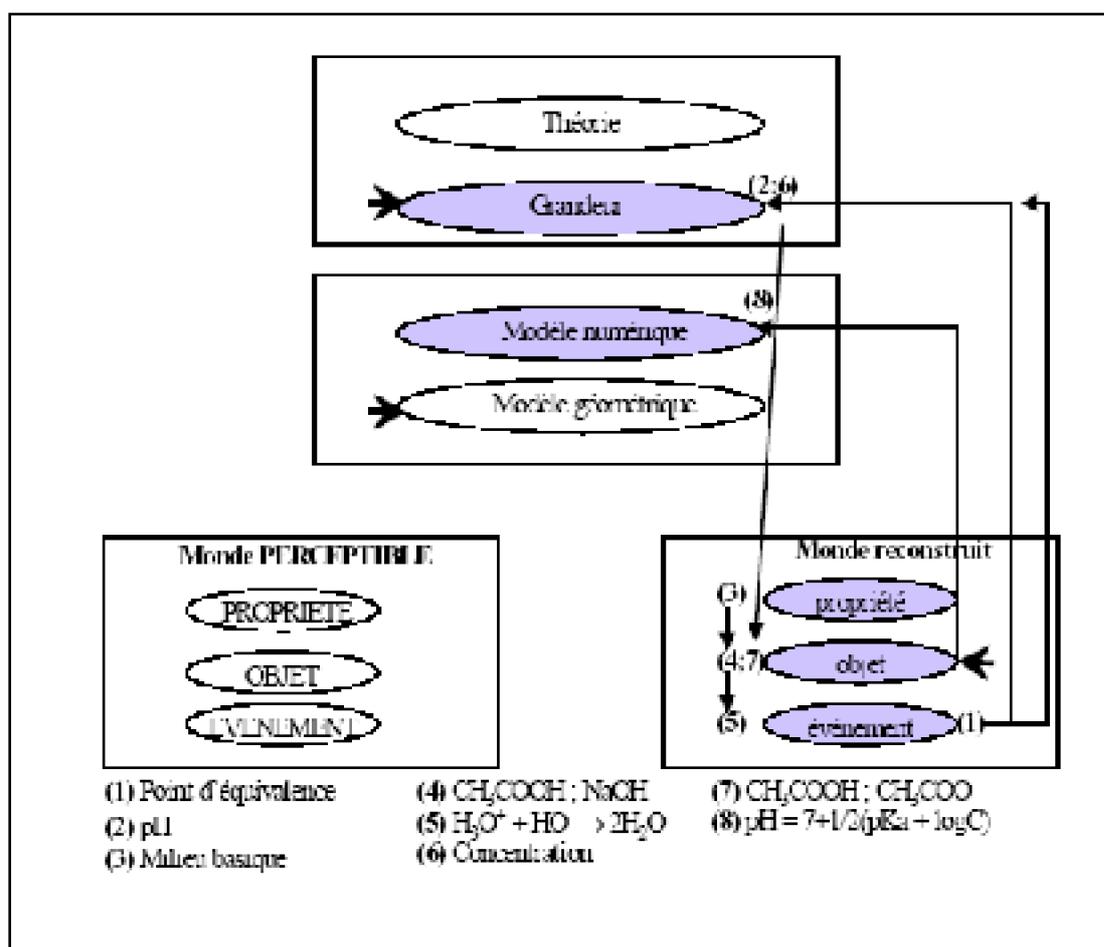
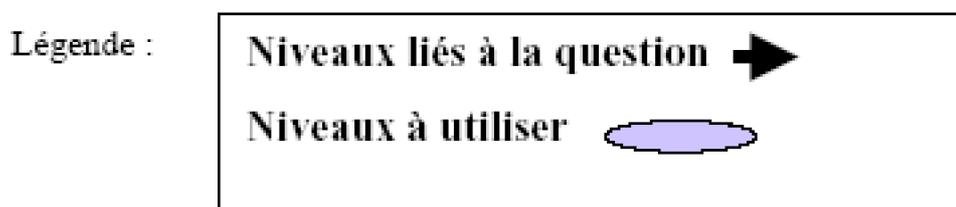


Figure 14 : Démarche suivie par l'étudiant lors de la réponse à la question 2



I.2.3. Question 3

La question adressée aux étudiants était la suivante :

Justifier la validité des indicateurs colorés dans chaque cas.

La question posée aux étudiants relève d'un problème typique en chimie, est de

justifier la validité des indicateurs colorés dans chaque cas. Le niveau de connaissance auquel cette question se réfère est le niveau objet du monde perceptible (indicateurs colorés).

L'objectif d'apprentissage de cette question est de permettre à l'étudiant de faire un lien entre le monde perceptible et le monde reconstruit.

I.2.3.1. Réponse du point de vue du savoir savant

Pour pouvoir interpréter le changement de couleur de la solution, l'étudiant doit être capable de synthétiser ses connaissances sur les indicateurs colorés, pour cela il faut savoir qu'un indicateur coloré est un couple acide-base dont les teintes pour l'acide et pour la base conjuguée sont différentes. Le changement de teinte observée se fait petit à petit, la teinte prise par la solution est la superposition des deux teintes celle de la forme acide ou de la forme basique. Nous pouvons dire que la couleur prise par la solution dépend de la concentration du milieu réactionnel.

I.2.3.2. Activités des étudiants

Pour répondre à cette question, nous prévoyons en se basant sur le savoir savant (Fig.15), que l'étudiant va se limiter dans son raisonnement au fait que chaque couleur de la solution (propriété perceptible) lui correspond un indicateur coloré (objet perceptible) dont la zone de virage (propriété reconstruite) contient le pH (grandeur) à l'équivalence (événement reconstruit).

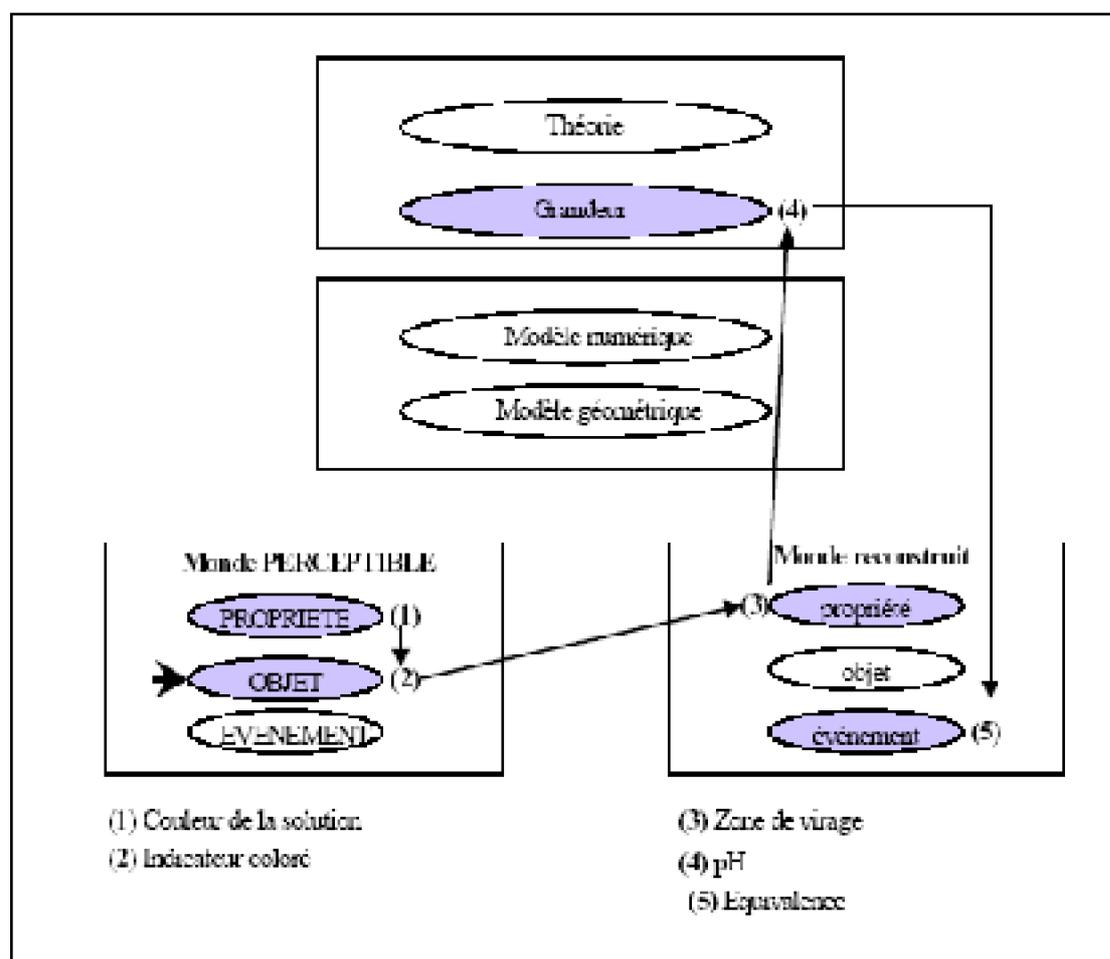
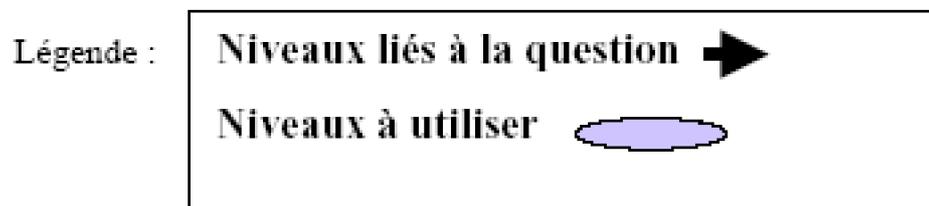


Figure 15 : Démarche suivie par l'étudiant lors de la réponse à la question 3



II. Analyse a priori du TP2

Du point de vue des étudiants et des enseignants, le but de ce 2^{ème} TP est d'effectuer trois dosages pH-métrique : l'un d'un diacide (acide sulfurique), l'autre d'un triacide (acide phosphorique) et le troisième avec un mélange de ces deux acides, les trois en présence

d'une base forte (soude). L'intérêt de ce TP au point de vue de notre recherche est d'étudier les difficultés des étudiants lors de ces trois dosages et de décrire l'apprentissage des réactions acido-basiques, par les étudiants, à l'aide des niveaux de connaissances mises en jeu dans les diverses situations.

Dans ce qui suit, nous allons nous intéresser uniquement aux questions du TP qui semblent pertinentes pour notre recherche.

II.1. Dosage d'une solution aqueuse d'acide sulfurique

Dans la partie expérimentale de ce 1^{er} dosage, l'étudiant est amené à réaliser un dosage pH-métrique et de tracer la courbe correspondante à ce dosage (le texte intégral du TP2 se trouve dans l'annexe). Dans ce dosage, la partie réflexion comporte 7 questions, nous allons traiter l'analyse de trois questions, étant donné leurs apports à notre recherche.

II.1.1. Question 1

La question adressée aux étudiants était la suivante :

Déduire, à partir du volume d'équivalence, la quantité d'ions HO^- nécessaires pour la neutralisation de l'acide.

Cette question met en jeu le niveau de grandeur (volume d'équivalence, quantité d'ions), le niveau des objets (HO^-) et événement (neutralisation) du monde reconstruit.

L'objectif d'apprentissage de cette question est d'amener l'apprenant à mettre en œuvre une relation avec les données expérimentales.

II.1.1.1. Réponse du point de vue du savoir savant

Le volume d'équivalence est déterminé à partir de la courbe du dosage. Le nombre de moles d'ions HO^- sera déterminé à partir de la relation à l'équivalence : $C_A V_A = C_B V_B$, tout en sachant que le nombre de moles d'ions HO^- est égal au produit de la concentration d'ions HO^- par le volume de la base ajouté pour atteindre l'équivalence.

$$n_{\text{HO}^-} = C_B \times V_{\text{éq}}$$

II.1.1.2. Activités des étudiants

Afin de répondre à cette question et en se basant sur le savoir savant, nous supposons que l'étudiant (Fig.16) passe par les étapes suivantes : à partir du point d'équivalence, l'étudiant détermine le volume à l'équivalence, il s'agit d'un lien entre l'événement reconstruit et la grandeur.

Sachant qu'il a déterminé les coordonnées du point d'équivalence, l'étudiant peut établir la relation entre la quantité d'ions HO^- et le volume à l'équivalence, c'est un lien entre grandeurs et objets reconstruits. A ce niveau là, l'étudiant peut faire le calcul de la quantité d'ions HO^- nécessaires pour la neutralisation de l'acide sulfurique : il s'agit du modèle numérique.

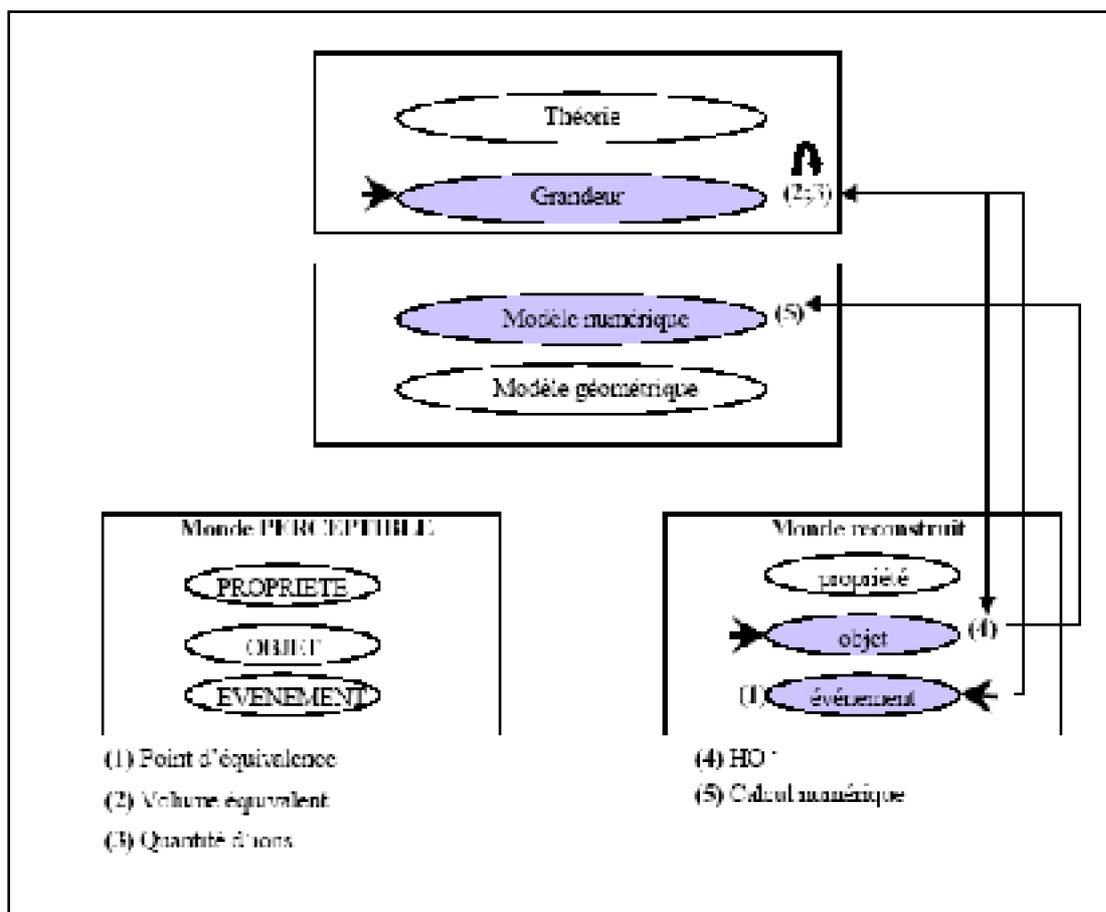
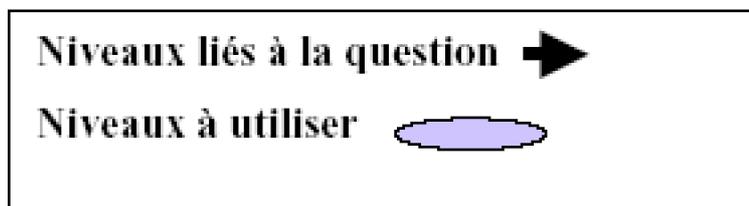


Figure 16 : Démarche suivie par l'étudiant lors de la réponse à la question 1

Légende :



II.1.2. Question 2

La question adressée aux étudiants était la suivante :

Quelle est l'équation du dosage ?

Cette question met en jeu les sous niveaux du monde reconstruit

(objets/événements) et éventuellement le niveau de l'événement reconstruit dans le registre symbolique.

L'objectif de cette question est d'aider les étudiants à mettre en relation la théorie et les objets et événements reconstruits. Cet objectif d'apprentissage peut être atteint à partir d'une synthèse des activités précédentes.

II.1.2.1. Réponse du point de vue du savoir savant

La neutralisation d'un polyacide par une monobase forte va d'abord concerner la première acidité, faisant comme si les autres n'existaient pas. A l'exception de H_2SO_4 qui a une première acidité forte, il se comporte comme un monoacide.

La réaction entre les deux solutions peut se représenter par l'équation suivante :



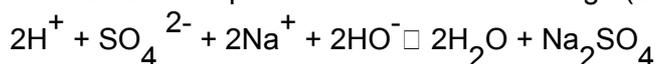
II.1.2.2. Activités des étudiants

Pour trouver la réponse à cette question, nous supposons que la démarche (Fig.17) suivie par l'étudiant peut être la suivante : l'étudiant va écrire en premier lieu les différentes entités chimiques présentes en solution, tout d'abord les entités chimiques perceptibles tels que H_2SO_4 et NaOH (objets perceptibles puisque le texte de TP fait référence à H_2SO_4 et NaOH) puis ces derniers vont être reconstruits par l'étudiant en des entités chimiques microscopiques que nous appelons objets reconstruits telles que H^+ , SO_4^{2-} , Na^+ , HO^- . A ce niveau, l'étudiant fait le lien entre les objets perceptibles et les objets reconstruits.

Par la suite, lorsque l'étudiant écrit l'équation de la réaction du dosage, trois niveaux de savoirs doivent être mis en jeu lors de la construction de sa réponse. Tout d'abord, l'étudiant va commencer par recenser les différentes entités chimiques présentes en solution (objets reconstruits), c'est-à-dire qu'il est entrain de reconstruire le système chimique à partir d'un monde perceptible qui englobe les produits chimiques, le matériel ...

Quant il écrit l'équation du dosage qui n'est autre qu'une représentation symbolique de la réaction qui a eu lieu entre l'acide sulfurique et la soude, il peut mettre en jeu le niveau de l'objet reconstruit (les différentes entités chimiques) et le niveau de l'événement reconstruit (réaction acido-basique). Nous nous attendons à ce que l'apprenant présente une propriété reconstruite relative à l'événement reconstruit.

Nous nous attendons à ce que l'étudiant écrive l'équation de la réaction du dosage avec toutes les entités chimiques en solution, car ils ne font pas la distinction entre l'équation bilan et l'équation de réaction du dosage (BARLET & BLOUIN, 1994)



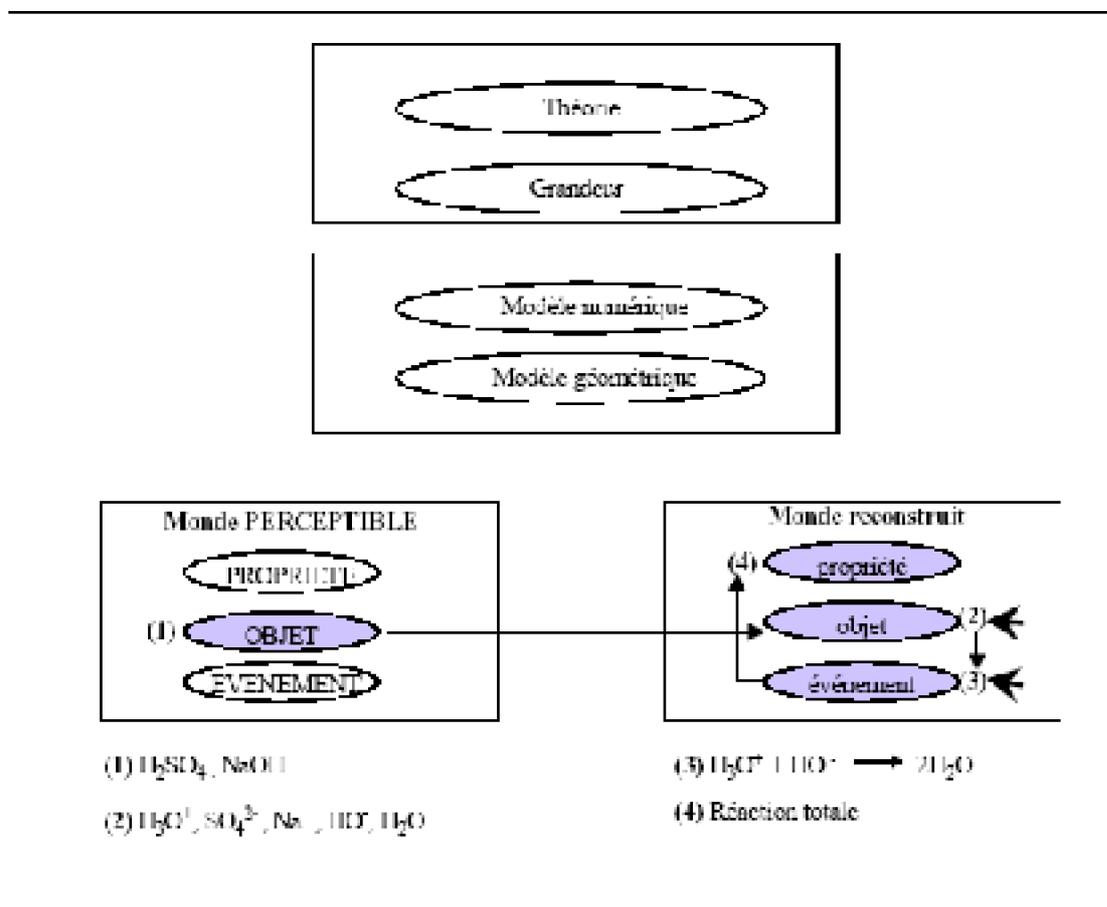
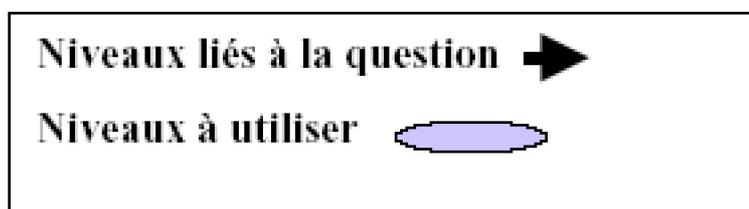


Figure 17 : Démarche suivie par l'étudiant lors de la réponse à la question 2

Légende :



II.1.3. Question 3

La question adressée aux étudiants était la suivante :

En déduire la quantité de matière d'ions H^+ qui a été dosée ? Comparer cette quantité à celle de H_2SO_4 dans 10mL.

Cette question met en jeu le niveau grandeur (quantité de matière) et le niveau objet du monde reconstruit (H^+ et H_2SO_4).

L'objectif d'apprentissage de cette question est de permettre à l'apprenant de déterminer la propriété reconstruite de l'acide sulfurique en solution aqueuse.

II.1.3.1. Réponse du point de vue du savoir savant

A partir de l'équation du dosage, le nombre de mole des ions H^+ présents en solution est égale au nombre de mole des ions HO^- libérés pour neutraliser l'acide. Etant donnée que le nombres de moles des ions HO^- est déjà déterminé, donc la quantité de matière d'ions H^+ qui a été dosée sera déduite de ce dernier.

Concernant la quantité de matière de H_2SO_4 contenue dans 10mL de solution, elle sera égale à la moitié de la quantité de matière d'ions H^+ qui a été dosée. Ceci est déterminé à partir de la réaction de dissociation de l'acide sulfurique en solution.

II.1.3.2. Activités de l'étudiant

Pour pouvoir répondre à cette question, l'étudiant peut passer par les étapes suivantes (Fig.18) : en premier lieu, il peut recenser les espèces chimiques présente en solution, puis écrire les réactions chimiques mise en jeu. Ceci nécessite l'intervention des niveaux objets et événements du monde reconstruit. L'écriture des équations de dissociation peut lui fournir des indications sur la quantité de matière d'ions H^+ et la quantité de matière de H_2SO_4 contenue dans 10mL de solution, il s'agit d'un lien entre l'événement reconstruit et la grandeur. A ce niveau, l'étudiant peut faire le lien entre la quantité de matière (grandeur) et les objets reconstruits (H^+ et H_2SO_4). A la fin de sa démarche, l'étudiant fait les calculs demandés en utilisant un modèle numérique.

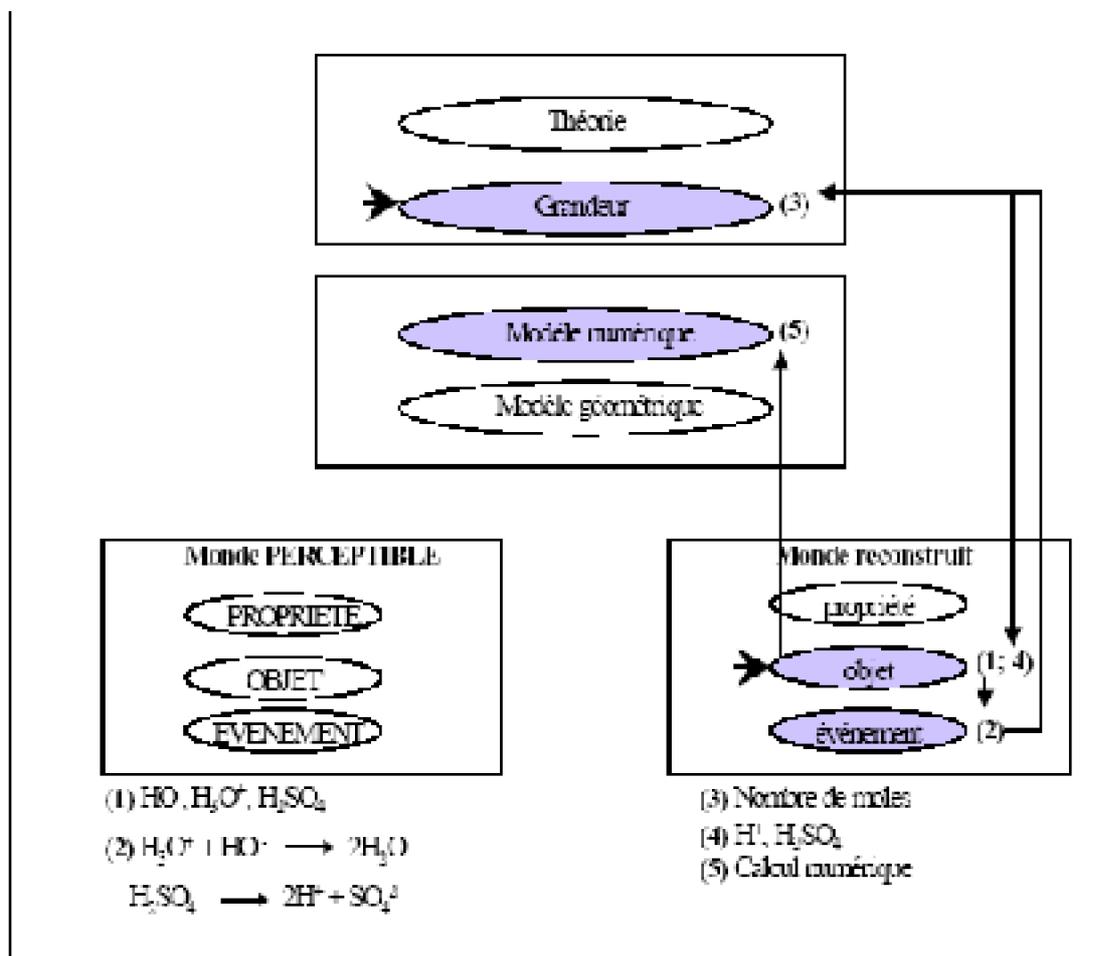


Figure 18 : Démarche suivie par l'étudiant lors de la réponse à la question 3

II.2. Dosage d'une solution aqueuse d'acide phosphorique

Cette partie du TP concerne le dosage d'une solution aqueuse d'acide phosphorique par une solution aqueuse de soude.

II.2.1. Question 1

La question adressée aux étudiants était la suivante :

Déterminer les coordonnées de chaque point d'équivalence (Volume et pH). Que remarque-t-on à propos des différents volumes d'équivalences ?

Cette question met en jeu le niveau des grandeurs (V et pH), l'événement reconstruit (point d'équivalence) et le niveau du modèle géométrique (les coordonnées du point d'équivalence fait référence à la courbe du dosage).

L'objectif d'apprentissage de cette question est de faire des liens qualitatifs entre caractères perceptibles et des grandeurs mesurables.

II.2.1.1. Réponse du point de vue du savoir savant

D'après la courbe du dosage et à travers les coordonnées des volumes équivalents, nous remarquons que ces derniers sont égaux : $V_{\text{éq}2} - V_{\text{éq}1} = V_{\text{éq}1}$

II.2.1.2. Activités des étudiants

La démarche (Fig.19) suivie par l'étudiant sera pareille que celle décrite ci-dessus, il peut faire un premier lien entre le modèle géométrique et les grandeurs (volumes et pH à l'équivalence), puis en deuxième étape le premier lien lui permet de dégager l'égalité entre les deux volumes d'équivalences ce qui lui permette de faire un lien avec le modèle numérique pour interpréter les grandeurs mesurables.

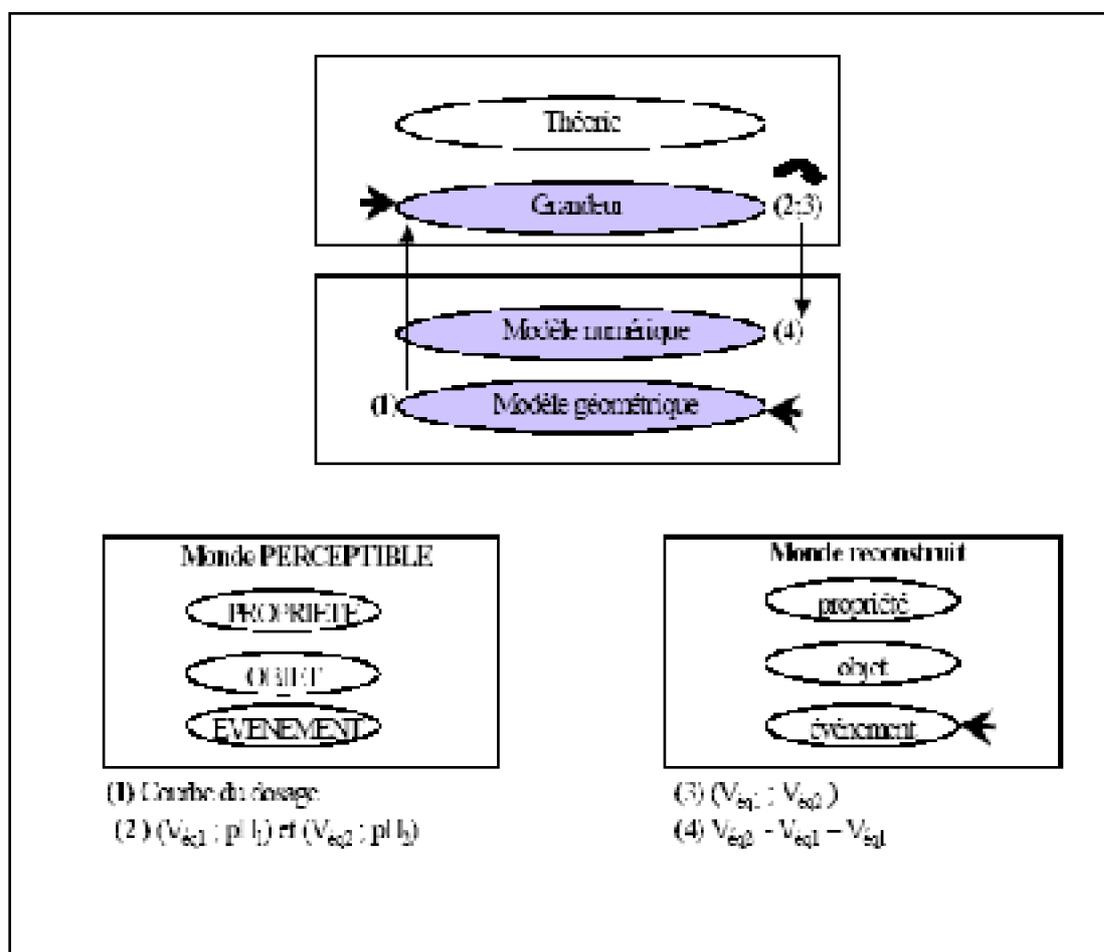
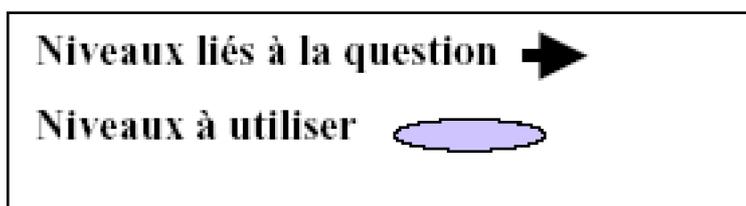


Figure 19 : Démarche suivie par l'étudiant lors de la réponse à la question 1

Légende :



II.2.2. Question 2

La question adressée aux étudiants était la suivante :

Sachant que l'acide phosphorique H_3PO_4 est un triacide, interpréter ce qui vient d'être remarqué à propos des différents volumes d'équivalence. On pourra faire différentes hypothèses sur la force des différentes acidités de l'acide phosphorique et voir

vertu de la loi du droit d'auteur.

si ces hypothèses sont confirmées ou infirmées par l'expérience réalisée.

Cette question met en jeu le niveau des grandeurs (volumes d'équivalence) et les niveaux des objets / propriétés du monde reconstruit.

L'objectif d'apprentissage de cette question est, de confirmer un résultat effectué préalablement, c'est-à-dire qu'à partir des sauts de pH et des volumes d'équivalence, nous guidons l'étudiant à dégager une propriété d'un polyacide tel que l'acide phosphorique H_3PO_4 .

II.2.2.1. Réponse du point de vue du savoir savant

La neutralisation d'un polyacide par une monobase forte va d'abord concerner la première acidité, faisant comme si les autres n'existaient pas. Nous mettons en évidence une première équivalence. Toutes les molécules H_nA (polyacide n fois acide) se sont transformées en $H_{n-1}A^-$. Il se produira alors la neutralisation de la seconde acidité par addition de base, jusqu'à la deuxième équivalence. Nous obtenons une succession de courbes de neutralisation de monoacides décalées les unes des autres.

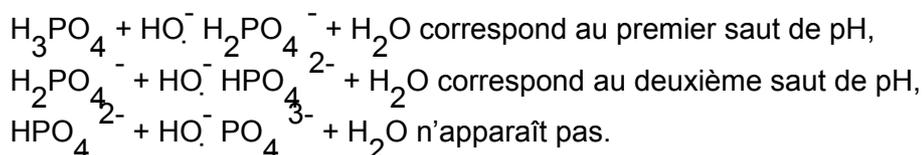
A la différence de l'acide sulfurique, nous ne dosons pas les acidités d'un seul coup, sinon, nous ne pourrions pas expliquer qu'il y a deux sauts de pH. Nous ne dosons pas non plus les deux premières acidités d'un coup et après la troisième, sinon, nous ne pourrions pas expliquer que les volumes équivalents sont égaux.

La seule possibilité, est que nous dosons la première acidité, puis la deuxième et que la troisième ne soit pas dosée dans ces conditions.

II.2.2.2. Activités de l'étudiant

Nous supposons que pour avoir une réponse correcte du point de vue du savoir savant, l'étudiant doit connaître que pour l'acide phosphorique, nous ne dosons pas les deux premières acidités d'un coup et après la troisième acidité de l'acide phosphorique, sinon la remarque qui a été faite à propos des volumes d'équivalence ne sera plus valable : il s'agit d'un lien entre l'événement perceptible (dosage), la propriété reconstruite (acidité), l'objet reconstruit (acide phosphorique) et la grandeur (volumes d'équivalence)

Nous nous attendons, à ce que l'étudiant écrive les équations du dosage de chaque acidité :



Il s'agit ici d'une part d'un lien entre les objets reconstruits (les différentes entités chimiques) et l'événement reconstruit (équation du dosage) et d'autre part, le lien entre l'événement reconstruit (équation du dosage) et l'événement perceptible (saut de pH).

La figure ci-dessous (Fig.20), résume la démarche suivie par l'étudiant au cours de sa réponse à la question.

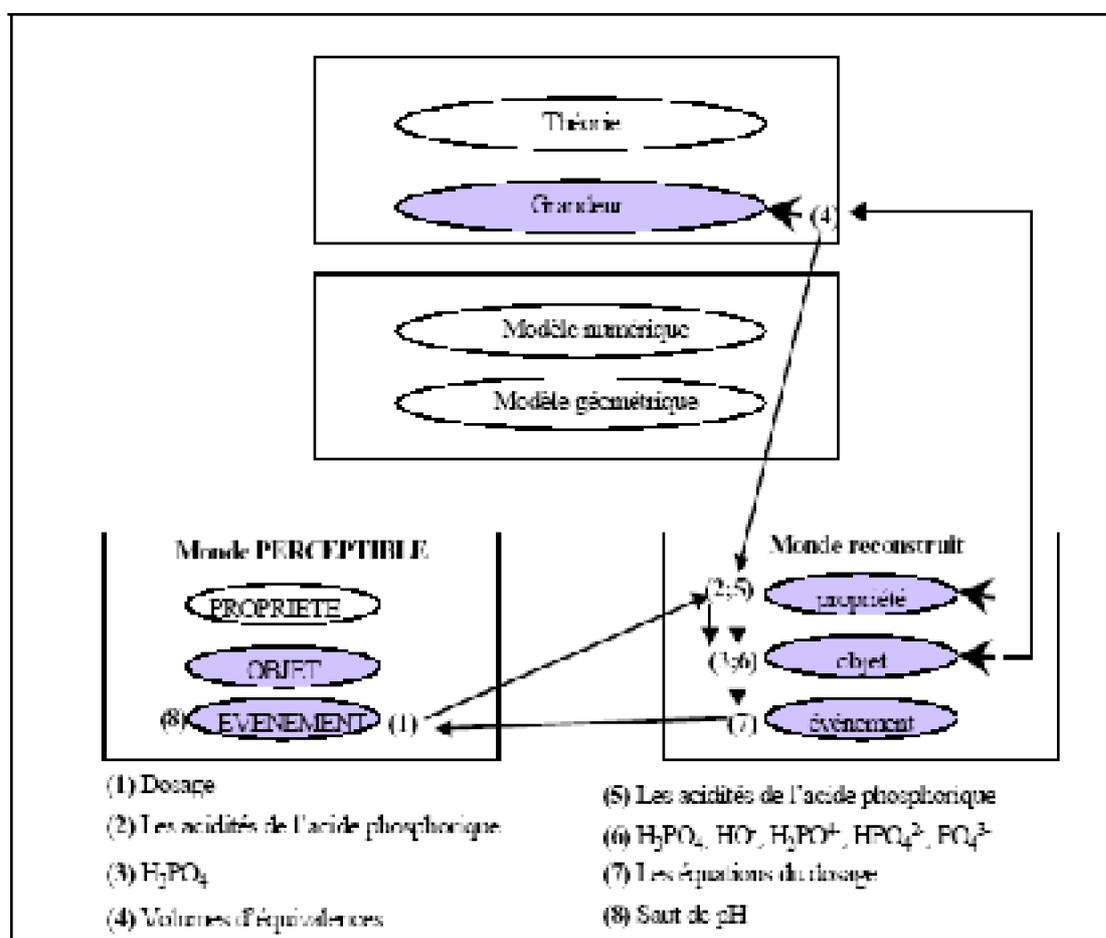
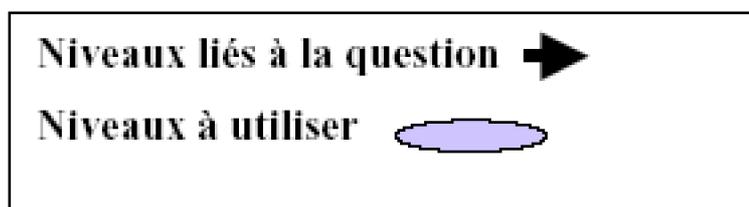


Figure 20 : Démarche suivie par l'étudiant lors de la réponse à la question 2

Légende :



II.3. Dosage d'un mélange d'acides

Cette partie du TP concerne le dosage d'un mélange d'acide formé par l'acide phosphorique et l'acide sulfurique par une solution aqueuse de soude.

II.3.1. Question 1

La question adressée aux étudiants était la suivante :

A quoi correspond chaque saut observé sur la courbe de dosage ? Ecrire l'équation de la réaction mise en jeu dans chaque cas.

Cette question met en jeu le niveau de l'événement perceptible (saut de pH), le niveau de l'événement reconstruit (l'équation de la réaction) et le niveau du modèle géométrique (courbe du dosage).

L'objectif d'apprentissage relatif à cette question revient à ce que l'étudiant fasse une synthèse des deux précédents dosages.

II.3.1.1. Réponse du point de vue du savoir savant

Le premier saut de pH correspondra au dosage des deux acidités de l'acide sulfurique et de la première de l'acide phosphorique. Le deuxième saut correspondra à la deuxième acidité de l'acide phosphorique.

Le 1^{er} saut de pH : $(\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4) + \text{HO}^- \rightarrow \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}_2\text{O} + (\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+)$

Le 2^{ème} saut de pH : $\text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{HO}^- \rightarrow \text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$

Les volumes équivalents seront dans le rapport 3 / 1 puisque la concentration en acide est la même pour chaque acide.

Les étudiants qui prévoiraient que l'on voit séparément la première acidité de l'acide phosphorique et les deux acidités de l'acide sulfurique seraient cohérents. C'est lors du dosage qu'ils se rendraient compte que leur prédiction n'est pas correcte.

II.3.1.2. Activités de l'étudiant

Nous supposons que la démarche suivie par l'étudiant est la suivante en se basant sur le savoir savant (Fig.21) : en premier lieu, il fait un lien avec l'événement perceptible (saut de pH) et la propriété reconstruite (1^{ère} acidité). Cette propriété est en lien directe avec les objets reconstruits présents en solution (H_3PO_4 , H_2SO_4 , HO^- ...), qui sont liés entre eux par des événements reconstruits (les équations des réactions).

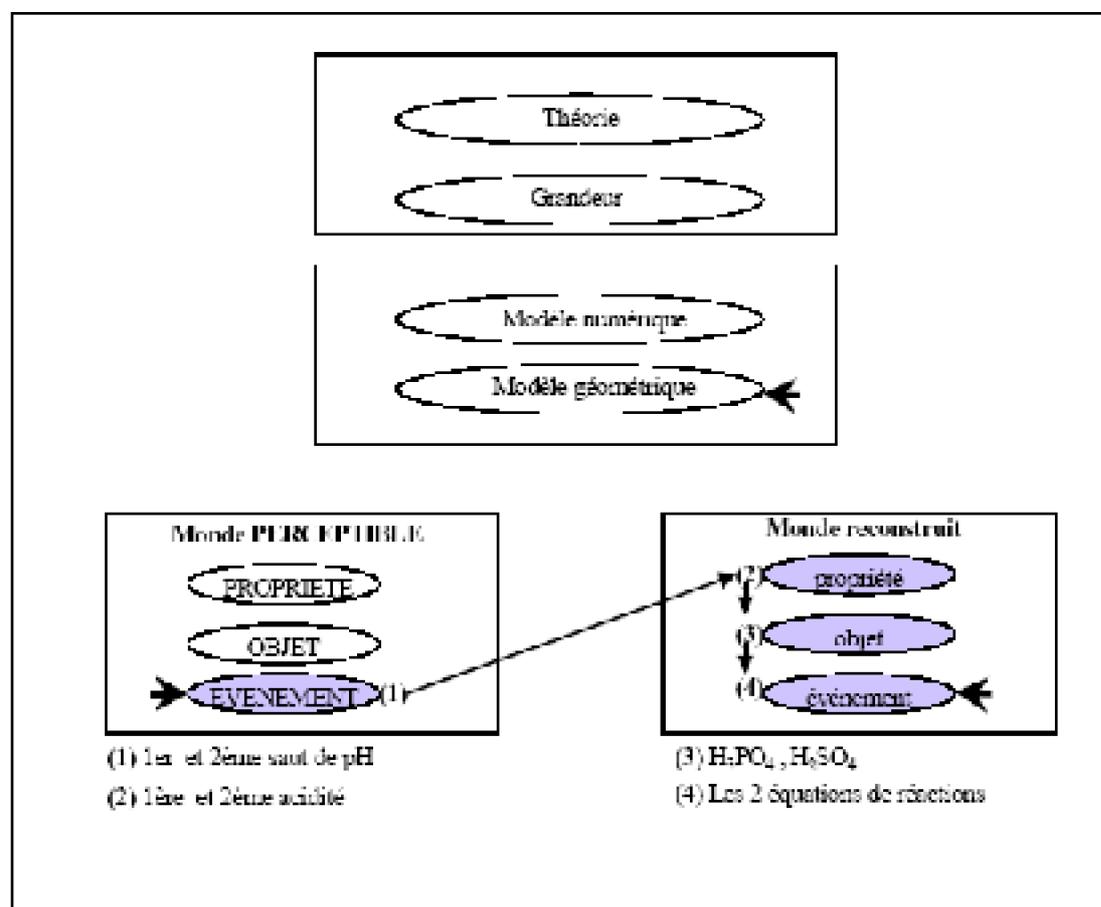
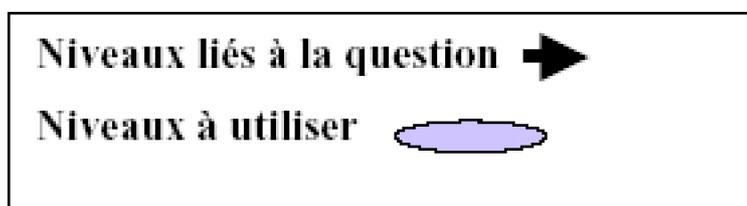


Figure 21 : Démarche suivie par l'étudiant lors de la réponse à la question 1

Légende :



III. Analyse a priori du TP3

Du point de vue des étudiants et des enseignants, le but de ce 3^{ème} TP est d'effectuer deux dosages pH-métrique : l'un d'une dibase (carbonate de sodium), et l'autre d'un mélange de bases (soude carbonatée) les deux en présence d'un diacide (acide

sulfurique). L'intérêt de ce TP au point de vue de notre recherche est d'étudier les difficultés des étudiants lors de ces deux dosages et de décrire l'apprentissage des réactions acido-basiques, par les étudiants, à l'aide des niveaux de connaissances mises en jeu dans les diverses situations.

Dans ce qui suit, nous allons nous intéresser uniquement aux questions du TP qui semblent pertinentes pour notre recherche.

III.1. Dosage d'une solution de carbonate de sodium

Dans la partie expérimentale de ce 1^{er} dosage, l'étudiant est amené à préparer, tout d'abord, la solution de carbonate de sodium, puis à réaliser un dosage pH-métrique et de tracer la courbe correspondante à ce dosage (le texte intégral du TP3 se trouve dans l'annexe). Dans ce dosage, la partie réflexion comporte 7 questions, nous allons traiter l'analyse de trois questions, étant donné leur apport à notre recherche.

III.1.1. Question 1

Avant de répondre à cette question, l'étudiant doit préparer une solution de carbonate de sodium.

La question adressée aux étudiants était la suivante :

Calculer le pH de cette solution.

Cette question met en jeu le niveau de grandeur (pH) et le niveau de l'objet perceptible (solution de carbonate de sodium).

L'objectif d'apprentissage de cette question, est de voir si les étudiants se rendent compte de la particularité de ce dosage avant de commencer les mesures.

III.1.1.1. Réponse du point de vue du savoir savant

Le pH d'une solution de carbonate de sodium est le pH d'une base faible, donné par la formule suivante : $\text{pH} = 7 + \frac{1}{2} (\text{pK}_{a_2} + \log C) = 11,5$.

III.1.1.2. Activités des étudiants

Afin de répondre à cette question, nous nous attendons à ce que l'étudiant suive la démarche suivante (Fig.22) : tout d'abord, l'étudiant va recenser les différentes entités chimiques présentes dans la solution, puis écrit l'équation de la réaction d'ionisation de Na_2CO_3 dans l'eau, il s'agit d'un lien entre les objets reconstruits et l'événement reconstruit. Ensuite, nous supposons que l'étudiant présente la propriété reconstruite (dibase) du carbonate de sodium : ce niveau de connaissance est nécessaire dans la démarche pour que l'étudiant puisse déterminer le pH de cette solution. Comme dernière étape, l'étudiant va présenter la formule du pH et fait le calcul : il s'agit d'un lien entre grandeur et modèle numérique.

Concernant cette question, nous attendons à ce que les étudiants présentent des difficultés de compréhension étant donné que l'étude de ROSS & al. (1991) montre que, les apprenants comprennent difficilement que le pH puisse mesurer la basicité.

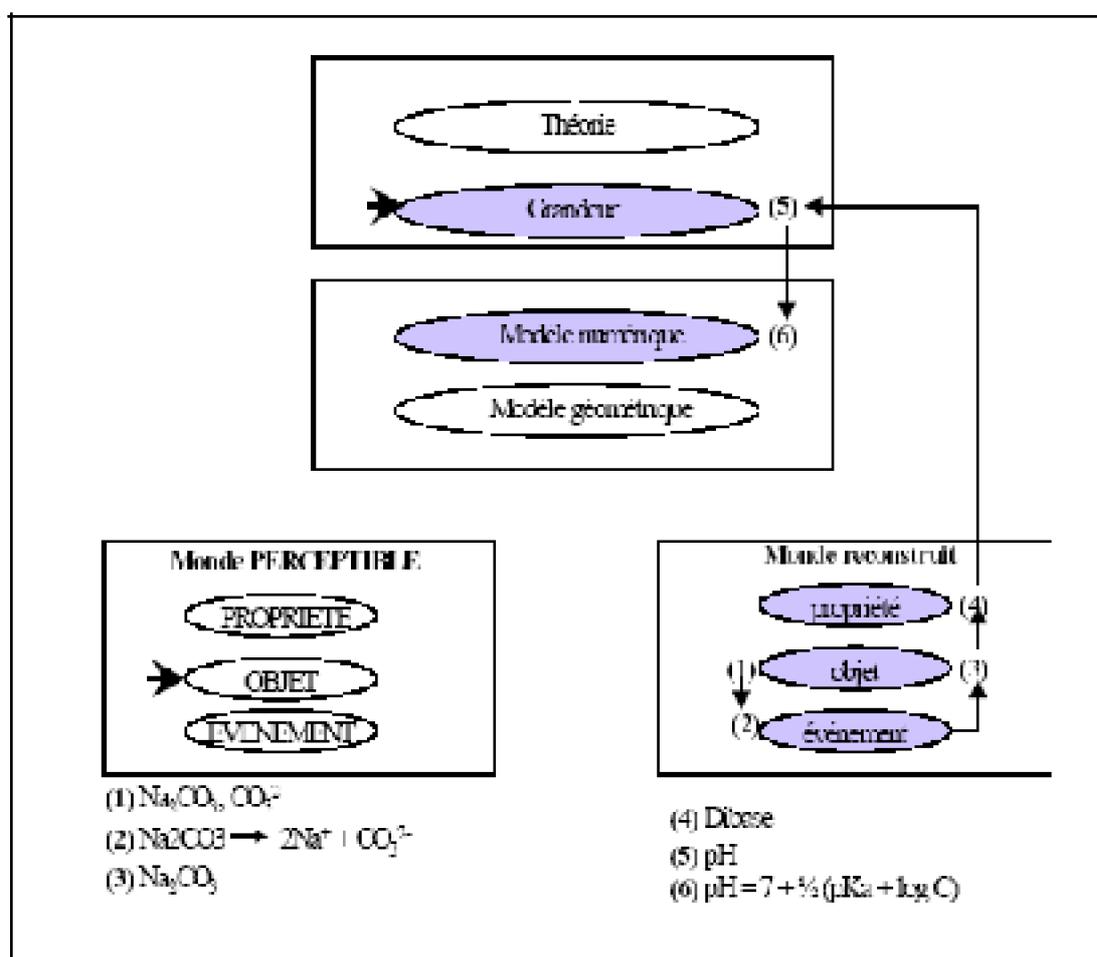
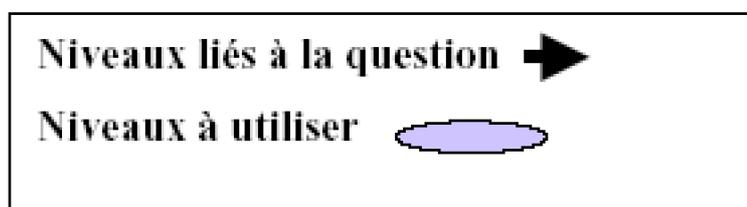


Figure 22 : Démarche suivie par l'étudiant lors de la réponse à la question 1

Légende :



III.1.2. Question 2

La question adressée aux étudiants était la suivante :

La courbe possède 2 sauts de pH. A quoi correspondent-ils ? Justifier en donnant les réactions mises en jeu.

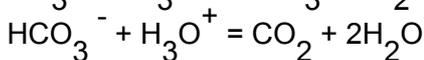
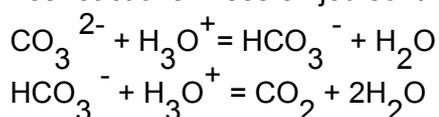
Cette question met en jeu les sous niveaux du monde géométrique (courbe du dosage), le niveau de l'événement perceptible (saut de pH) et le niveau de l'événement reconstruit (réactions mise en jeu)

L'objectif d'apprentissage de cette question est d'aider les étudiants à faire fonctionner les différents liens existant entre tout ce qui est perceptible et le système réactionnel.

III.1.2.1. Réponse du point de vue du savoir savant

La courbe du dosage de la solution de carbonate de sodium présente deux sauts, le premier correspond au dosage de la base CO_3^{2-} . Pendant ce dosage, il se forme l'ion HCO_3^- qui est dosé à son tour, le deuxième saut correspond au dosage de cet ion.

Les réactions mises en jeu sont les suivantes :



III.1.2.2. Activités des étudiants

Nous supposons que la démarche suivie par l'étudiant afin de répondre à cette deuxième question est la suivante (Fig.23) : tout d'abord, l'étudiant va préciser que la courbe du dosage présente deux sauts de pH, il s'agit d'un lien entre le modèle géométrique et l'événement perceptible. Ensuite, à chaque saut de pH (événement perceptible), il fait correspondre l'entité chimique correspondante (objets reconstruits). A la fin de sa démarche, l'étudiant les réactions mises en jeu dans ce dosage en faisant le lien entre les différentes entités chimiques (objets reconstruits) et les équations chimiques (événement reconstruit)

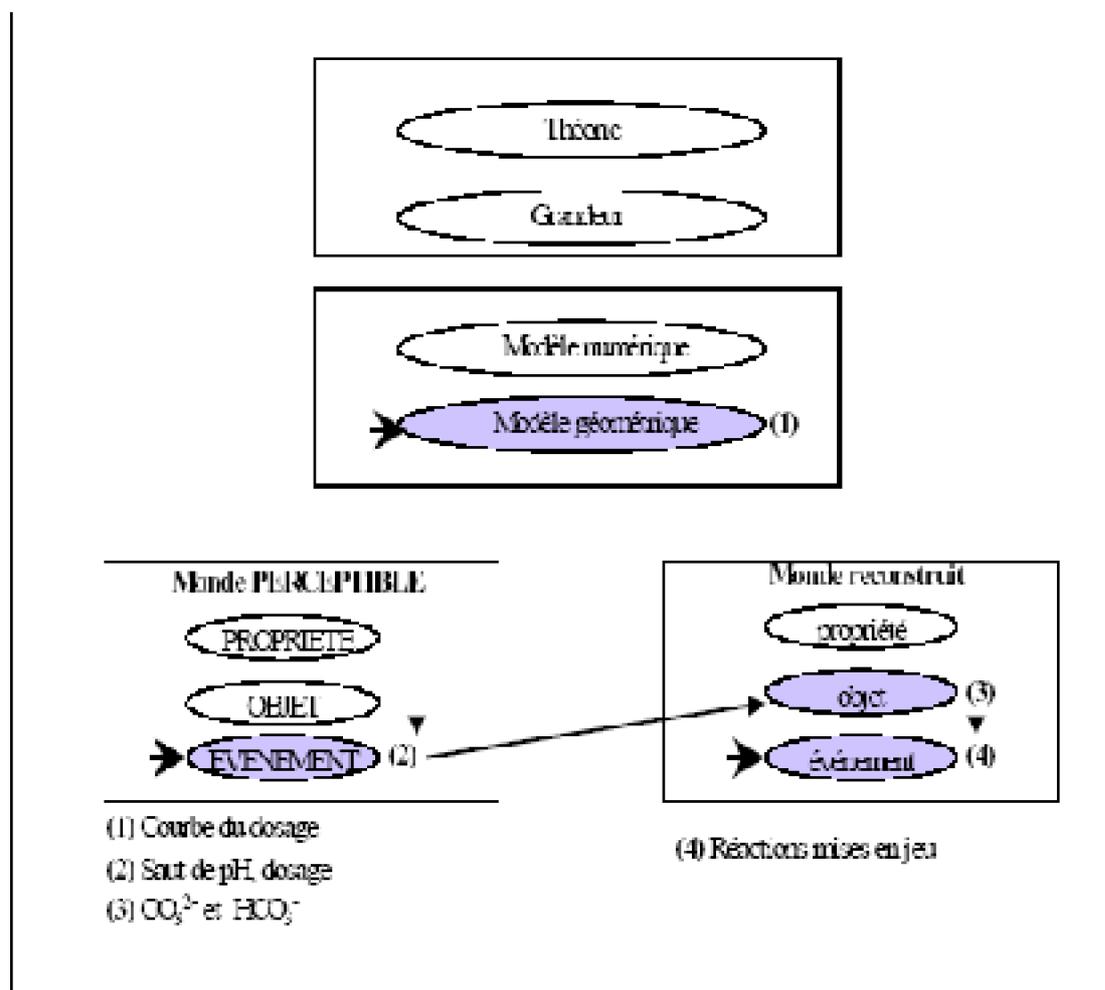
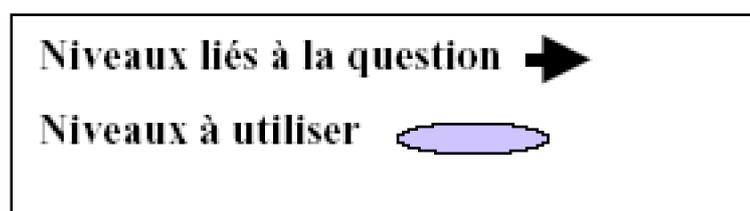


Figure 23 : Démarche suivie par l'étudiant lors de la réponse à la question 2

Légende :



III.1.3. Question 3

La question adressée aux étudiants était formulée de la manière suivante :

Déterminer les coordonnées des points d'équivalence et retrouver ces valeurs par le calcul.

Cette question met en jeu le niveau des grandeurs (volumes et pH), le niveau de l'événement reconstruit (point d'équivalence) et le niveau du modèle numérique (calculs).

Cette question permet aux étudiants de retrouver les coordonnées des points d'équivalence par le biais de calcul. Cette question est en étroite relation avec celle qui la précède, étant donnée que l'étudiant a besoin, pour faire des calculs, de connaître les différentes entités chimiques se trouvant à l'équivalence.

L'objectif d'apprentissage de cette question est d'amener les apprenants à mettre en relation les grandeurs mesurables et les savoirs théoriques.

III.1.3.1. Réponse du point de vue du savoir savant

Les coordonnées des points d'équivalence se trouvent sur la courbe. Par le calcul, nous trouvons que le pH du 1^{er} saut correspond au pH d'une espèce amphotère en solution donné par la formule $\text{pH} = \frac{1}{2} (\text{pK}_{a1} + \text{pK}_{a2})$. Le volume équivalent est de 10 mL car la concentration en acide sulfurique étant de $0,05 \text{ mol.L}^{-1}$, alors que la concentration de H^+ est le double, soit $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ dans la solution titrante. Les coordonnées du deuxième saut de pH sont $V = 20 \text{ mL}$ (le double exactement) et le pH est celui d'un acide faible, donné par la formule suivante : $\text{pH} = \frac{1}{2} (\text{pK}_{a1} - \log C)$.

A cause de la dilution, la concentration C a changé par rapport à la concentration initiale de la solution de carbonate de sodium.

III.1.3.2. Activités des étudiants

Afin de répondre à cette troisième question, nous nous attendons à ce que l'étudiant puisse établir au minimum les liens suivants pour avoir une réponse acceptable (Fig.24).

Au début de sa démarche, l'étudiant détermine à partir de la courbe du dosage, les coordonnées des points d'équivalence : il s'agit d'un lien entre le modèle géométrique (courbe du dosage) et les grandeurs (volumes et pH). Afin de retrouver ces valeurs par le calcul, nous supposons que l'étudiant suive les étapes suivantes : l'étudiant écrit les équations du dosage pour déterminer son système réactionnel, il s'agit d'un lien entre les objets reconstruits (entités chimiques) et l'événement reconstruit (équation du dosage), la deuxième étape consiste à ce que l'étudiant présente les propriétés reconstruites (amphotère et acide faible) des différents objets reconstruits (HCO_3^- et CO_2), il s'agit alors d'un lien entre les niveaux objets et propriétés du monde reconstruit, ensuite en se basant sur la propriété reconstruite l'étudiant peut établir le pH et le volume correspondants : c'est un lien entre la propriété reconstruite (amphotère et acide faible) et les grandeurs (pH et V). A partir de ces différents liens, l'étudiant peut établir les relations permettant de déterminer le calcul du pH et du Volume (modèle numérique).

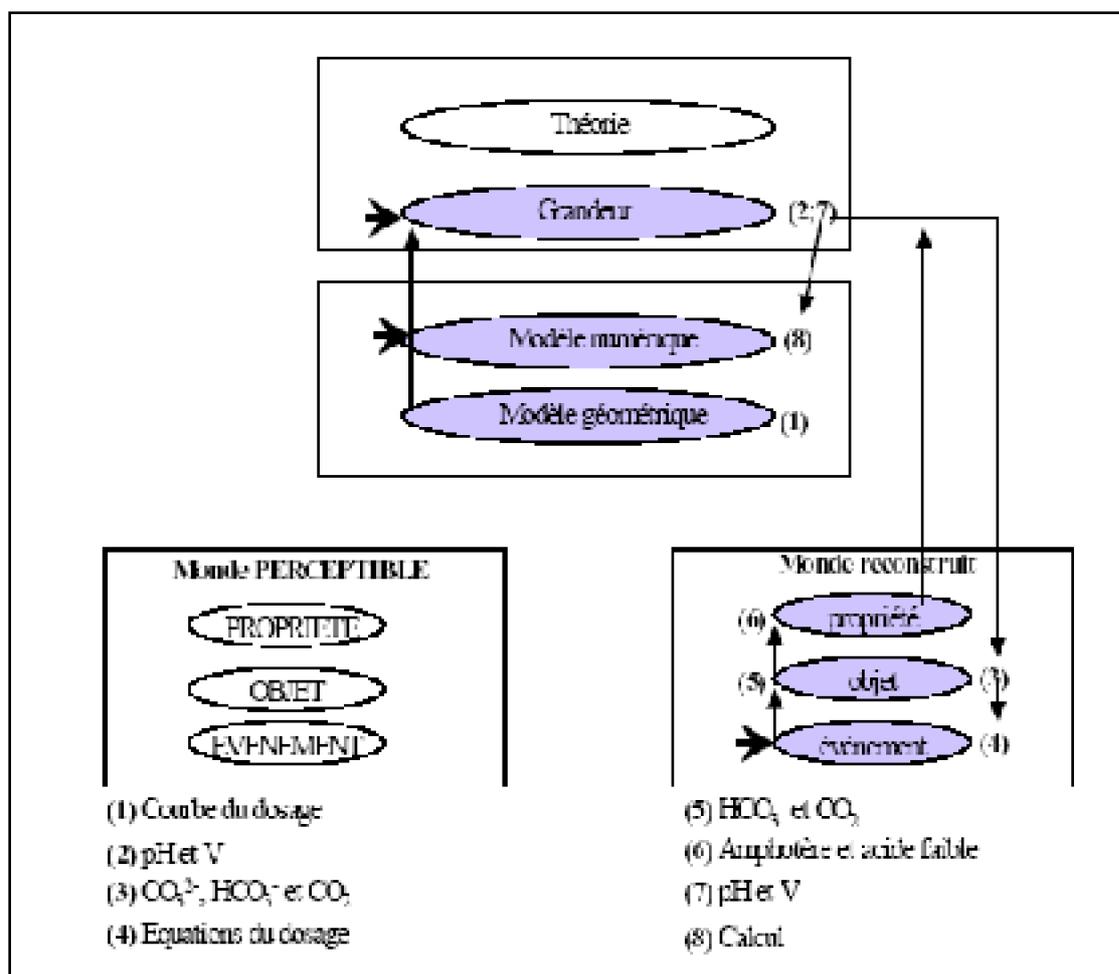
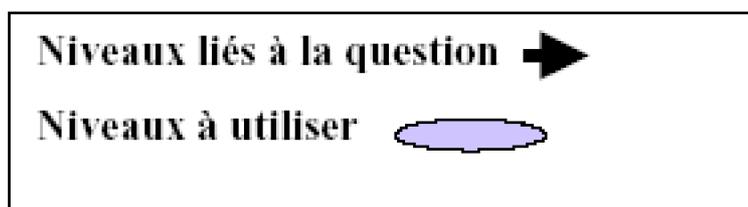


Figure 24 : Démarche suivie par l'étudiant lors de la réponse à la question 1

Légende :



III.2. Dosage de la soude carbonatée

La première partie de ce 2^{ème} dosage consiste à faire une étude sur la réaction de carbonatation de la soude. Dans cette partie du TP3, nous allons nous intéresser uniquement aux questions qui portent sur l'étude de cette réaction.

III.2.1. Question 1

La question adressée aux étudiants était la suivante :

Les solutions de soude réagissent avec le dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère. Traduire cette carbonatation par une équation chimique. On justifiera la forme sous laquelle se trouve le dioxyde de carbone dans la soude carbonatée.

Cette question met en jeu les objets reconstruits (soude, dioxyde de carbone) et l'événement reconstruit (réaction de carbonatation).

L'objectif d'apprentissage de cette question est d'amener les étudiants à faire fonctionner le monde reconstruit.

III.2.1.1 Réponse du point de vue du savoir savant

La réaction de carbonatation de la soude est la suivante : $\text{CO}_2 + 2\text{HO}^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$. C'est l'ion carbonate qui se forme et non pas l'ion hydrogénéocarbonate car lors de la dissolution «d'un peu» de dioxyde de carbone, le pH de la solution de soude reste très basique et dans ces conditions, c'est la forme basique qui prédomine. Si nous avons introduit un très grand excès de dioxyde de carbone, le problème aurait été différent.

III.2.1.2. Activités des étudiants

A fin de répondre à cette question, nous supposons que l'étudiant passe par les étapes suivantes (Fig.25) : tout d'abord il doit écrire l'équation relative à la réaction de carbonatation, c'est le lien entre les objets reconstruits (entités chimiques) et l'événement reconstruit (équation de la réaction de carbonatation). Pour pouvoir trouver la forme sous laquelle se retrouve le dioxyde de carbone dans la soude carbonatée, nous supposons que l'étudiant va faire le lien entre la grandeur pH et la propriété reconstruite de la solution formée : il s'agit d'un lien entre grandeur (pH) et la propriété reconstruite (forme basique).

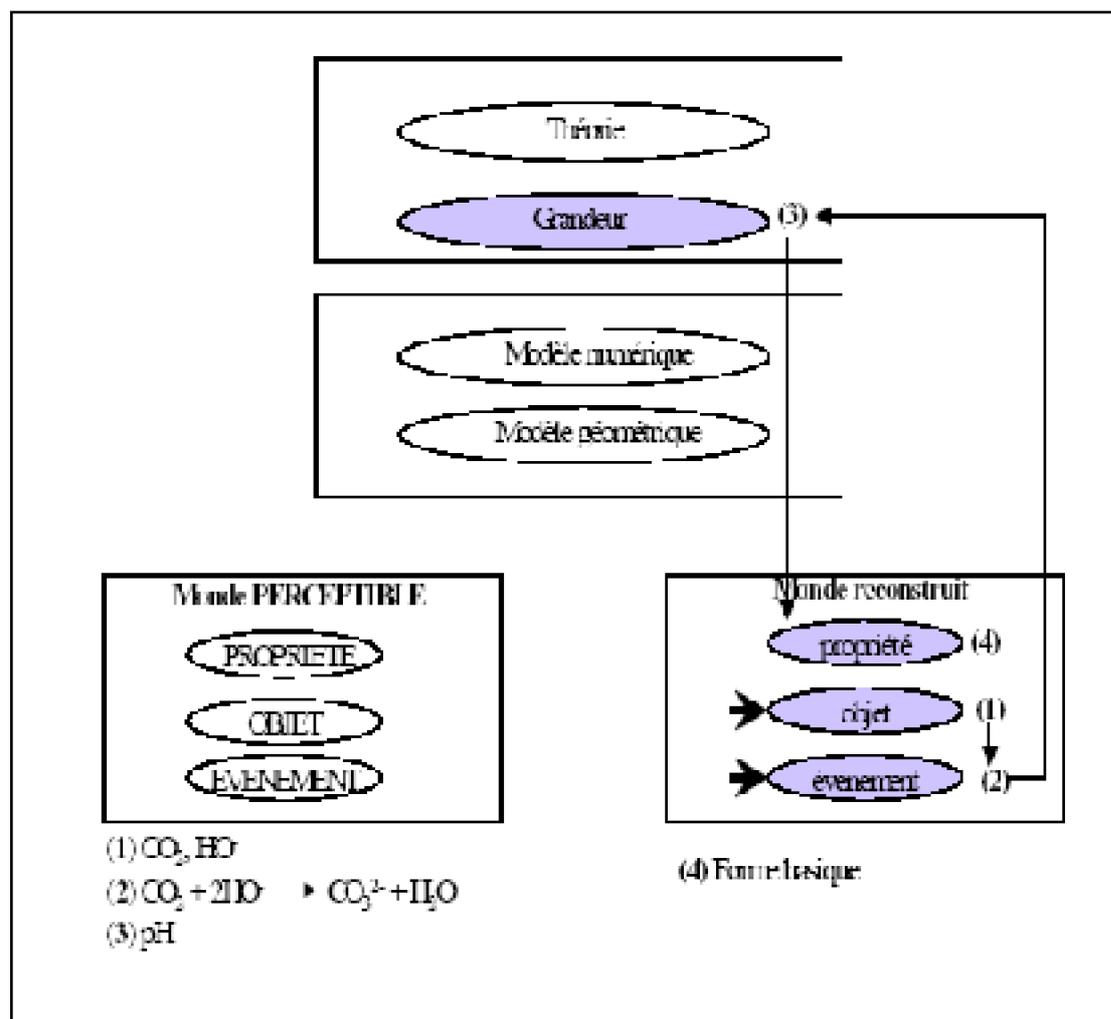
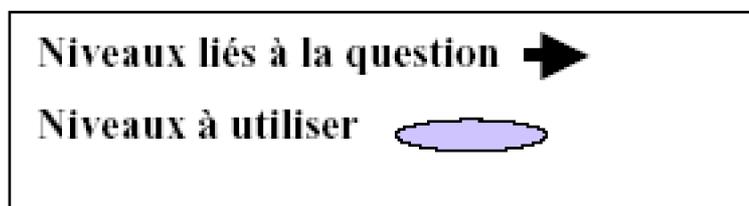


Figure 25 : Démarche suivie par l'étudiant lors de la réponse à la question 1

Légende :



III.2.2. Question 2

La question adressée aux étudiants était formulée de la manière suivante :

Prévoir, en justifiant, l'allure de la courbe de dosage, par un acide fort, d'une soude partiellement carbonatée.

Cette question met en jeu le monde géométrique (courbe du dosage), les objets reconstruits (acide, soude) et les propriétés reconstruites (fort, partiellement carbonatée).

L'objectif d'apprentissage de cette question est d'amener l'apprenant à faire des prévisions avant de réaliser l'expérience.

III.2.2.1. Réponse du point de vue du savoir savant

La solution contient une base forte HO^- et une dibase faible CO_3^{2-} . Nous ne pouvons pas prévoir si nous voyons trois sauts de pH ou si deux sauts confondus, sans faire des calculs. Les calculs montrent que le pH initial est de l'ordre de $14 + \log(\text{HO}^-)$, soit 12,7 qui est supérieur au pH d'une solution de carbonate de sodium calculé à la première question du premier dosage (11,5). Il n'y aura pas de saut de pH entre 12,7 et 11,5 et nous ne verrons que deux sauts, le premier correspondant à $\text{HO}^- + \text{CO}_3^{2-}$ et le second correspondant à HCO_3^- formé pendant la première neutralisation.

III.2.2.2. Activités des étudiants

Pour pouvoir répondre à cette question, nous supposons que la démarche suivie par l'étudiant est la suivante (Fig.26) : l'étudiant commence par présenter la solution de soude partiellement carbonatée qui est en sa possession (objet perceptible), tout en reconstruisant ce système réactionnel en des objets reconstruits (HO^- et CO_3^{2-}). Après avoir recensé les différentes entités chimiques présentes dans la solution, l'étudiant présente leurs propriétés reconstruites : il s'agit d'un lien entre les objets reconstruits (HO^- et CO_3^{2-}) et les propriétés reconstruites (fort et faible). Afin de prévoir l'allure de la courbe du dosage d'une solution de soude partiellement carbonatée, nous supposons que l'étudiant fait des calculs de pH pour déterminer le nombre de sauts de pH, les liens possibles sont le lien entre grandeur (pH) et le modèle numérique (calculs), puis le lien entre la grandeur (pH) et l'événement perceptible (saut de pH) et à la fin le lien entre l'événement perceptible (saut de pH) et les objets reconstruits (HO^- , CO_3^{2-} et HCO_3^-).

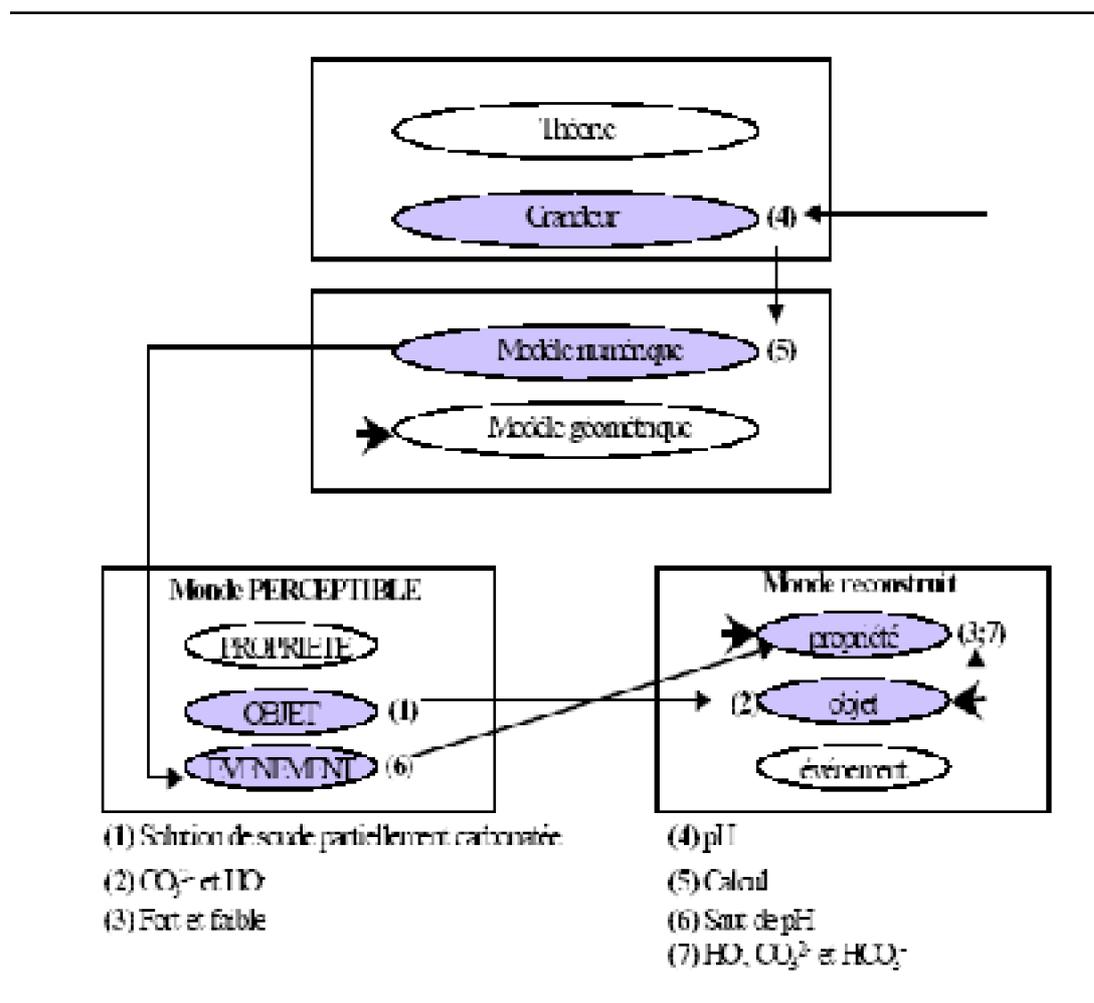
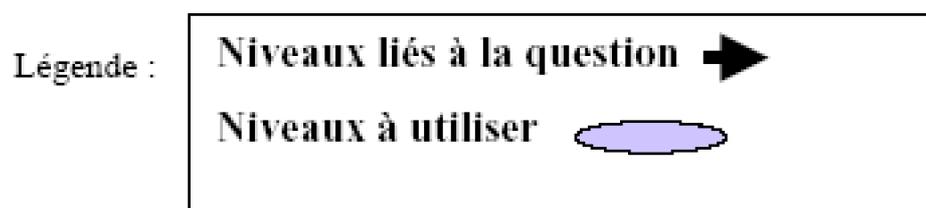


Figure 26 : Démarche suivie par l'étudiant lors de la réponse à la question 2



IV. Synthèse

L'étude de l'analyse *a priori* nous a permis, d'analyser les textes des différentes questions se trouvant dans les trois TP suivant le cadre théorique et d'analyser l'activité de modélisation de l'apprenant lors de la réponse aux questions. Dans l'analyse *a priori*, nous avons tenu compte uniquement des niveaux de connaissances qui peuvent être mis

en jeu, au minimum, par l'apprenant pour fournir une réponse correcte du point de vue du savoir enseigné. L'analyse *a priori* nous permet d'analyser l'écart entre l'activité réelle de l'apprenant en situation de classe et celle que nous avons prévue.

PARTIE C : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Chapitre 1. Analyse du TP1 : « DOSAGE pH-METRIQUE ET COMPARAISON DES COURBES DE DOSAGE »

Dans cette partie, nous présentons les résultats liés à la réalisation du TP1 " dosage pH-métrique et comparaison des courbes de dosage", en comparaison avec l'ancienne version de ce TP.

Nous analysons, tout d'abord ce TP, du point de vue des connaissances qu'il met en jeu et qu'il vise à construire, puis en prenant en compte les activités de modélisation qu'il va permettre aux étudiants de mettre en œuvre. Enfin, nous comparons cette analyse avec celle des activités de modélisation effectivement mises en œuvre par les étudiants dans son ancienne version.

I. Texte du TP1 (Nouvelle version)

I.1. Textes originaux

Le TP1 a été construit à partir d'un assemblage de 3 TP antérieurs à 1999 à savoir, le TP01⁸ « Comparaison de deux méthodes de titrage d'un acide fort par une base forte », le TP02 « Dosage d'un acide faible par une base forte » et le TP05 « Effet tampon dosage d'oxydoréduction ». Nous présentons ci-dessous leurs textes originaux tels qu'ils étaient présentés aux étudiants. Ces textes ont subi des modifications aux niveaux du travail de réflexion que nous allons analyser ici.

I.1.1. Description du TP01 « Comparaison de deux méthodes de titrage d'un acide fort par une base forte »

Le texte du TP01 fourni aux étudiants comprend essentiellement un développement théorique, une liste et une description du matériel, les méthodes à utiliser pour obtenir les mesures à effectuer.

La première manipulation de ce TP, consiste à réaliser le dosage d'une solution d'acide chlorhydrique HCl par une solution de soude NaOH en présence d'un indicateur coloré. Le texte fourni aux étudiants donne d'abord le mode opératoire :

· MANIPULATION

- Introduire la solution de soude de concentration connue dans la burette.
- Prélever 10mL de la solution acide avec une pipette et les verser dans un erlenmeyer.
- Ajouter deux ou trois gouttes d'indicateur coloré.
- Ajouter progressivement la solution de base en agitant. Le changement de couleur de la solution indiquera le point d'équivalence.
- Noter le volume de base utilisé.
- Faire un deuxième et troisième essai.

Ce texte est essentiellement rédigé en terme d'objets (solution, burette..), d'événements (introduire, ajouter..) du monde perceptible. Une unique relation entre le monde perceptible et le monde reconstruit est fournie : il s'agit de la relation entre le changement de couleur et le point d'équivalence.

Puis des calculs sont proposés :

· RESULTATS

- Ecrire l'équation de la réaction de dosage.
- Calculer les concentrations : molaire et massique.
- Le choix de l'indicateur est-il satisfaisant ?

⁸ Le chiffre 0 fait référence à l'ancienne version du TP

- Quel indicateur permet de déterminer la concentration de la solution avec la meilleure précision ?
- Compte tenu de la précision du dosage, déterminer le domaine expérimental dans lequel sont situés concentration molaire et le titre massique, c'est-à-dire présenter les résultats sous la forme : $X = (a \pm \Delta a)$

Par contre, les questions présentées aux étudiants après la réalisation de l'expérience relèvent du monde reconstruit et du niveau des grandeurs. L'événement reconstruit (la réaction acido-basique) est pris en considération dans la partie réflexion. Une relation entre l'objet perceptible (indicateur) et grandeur (pH) est mise en évidence dans la quatrième question : « *Quel indicateur permet de déterminer la concentration de la solution avec la meilleure précision ?* »

La seconde partie concerne le tracer de la courbe de titrage de l'acide chlorhydrique HCl par la soude NaOH. Dans cette partie, le texte présente en premier lieu le principe de fonctionnement du pH-mètre puis son étalonnage.

MANIPULATION

- Introduire la solution de soude dans la burette.
- Prélever une prise d'essai de la solution à titrer (HCl 1M) avec une pipette et l'introduire dans un bécher placé sur le centre d'un agitateur magnétique.
- Plonger les électrodes, préalablement rincées et séchées, dans la solution à doser en ayant soin de régler la hauteur pour que lors de l'agitation, le barreau aimanté ne risque pas de heurter les électrodes.
- Si le volume du liquide est insuffisant pour immerger les électrodes, prendre un volume de solution plus grand (le trou de jonction doit être entièrement recouvert par la solution).
- Mettre en marche l'agitateur magnétique en tournant lentement le bouton de commande de l'appareil jusqu'à ce que l'agitation soit régulière et pas trop forte.
- Passer sur la position pH du pH-mètre.
- Lire le pH au départ, et après chaque addition de solution titrante.
- Tracer en même temps la courbe représentant la valeur du pH en fonction du volume ajouté.

Remarque :

- Ajouter la solution titrante mL par mL, mais lorsque le pH commence à varier rapidement, ajouter 0,2mL par mL en relevant à chaque fois le pH correspondant au volume ajouté.
- Une fois le dosage terminé, passer sur la position (0) du pH-mètre.
- Retirer les électrodes de la solution, les rincer avec de l'eau distillée et les

immerger dans de l'eau distillée.

- A la fin de la manipulation remettre les électrodes dans leur tube de protection et arrêter l'appareil.

Puis des interprétations des résultats sont demandées :

· **RESULTATS**

- Déterminer par la méthode des tangentes le point d'équivalence.
- Indiquer sur la courbe les entités chimiques prédominantes dans chaque zone.
- Calculer les concentrations : molaire et massique avec les incertitudes. Présenter les résultats sous forme $X = (a \pm \Delta a)$ unité.
- Comparer les deux méthodes des parties B et C. Quelle est la plus précise ? Pourquoi ?

Ce qui est demandé aux étudiants dans la partie réflexion relève du modèle géométrique (méthode des tangentes) et modèle numérique (calculs). Une relation entre le modèle géométrique et l'objet reconstruit est mise en évidence : « *Indiquer sur la courbe les entités chimiques prédominantes dans chaque zone* ».

La dernière partie de ce TP, traite du dosage d'une solution diluée d'acide chlorhydrique HCl afin de une comparaison entre les courbes de titrage.

· **MANIPULATION**

- Effectuer le dosage de la solution en procédant comme dans les parties B et C et tracer sur le même papier millimétré la courbe $\text{pH} = f(V_{\text{NaOH}})$.
- Calculer la concentration molaire de la solution ainsi obtenue.
- Comparer les deux courbes. Que peut-on conclure ?

Le but principal de cette activité est d'apprendre à l'élève l'effet de la dilution sur les courbes de dosage. Les termes utilisés dans cette portion de texte appartiennent au monde perceptible (dosage, solution) au modèle géométrique (courbe) et au modèle numérique (calculs).

I.1.2. Description du TP02 « Dosage d'un acide faible par une base forte. Préparation d'une solution d'acide »

Ce TP présente deux parties : la première consiste à réaliser un dosage d'une solution d'acide acétique CH_3COOH par une solution de soude NaOH de la même manière que le premier TP (TP01), la seconde partie aborde la manière de préparer une solution normale d'acide sulfurique H_2SO_4 à partir d'une solution concentrée.

· **MODE OPERATOIRE**

Dans une fiole jaugée de 500cm³ d'eau mettre environ 300cm³ d'eau puis verser doucement en agitant et en refroidissant sous courant d'eau le volume nécessaire d'acide sulfurique commercial prélevé dans une éprouvette. Compléter ensuite à 500cm³ par addition d'eau.

· DOSAGE DE CETTE SOLUTION PAR LA SOUDE M/5

- Prélever 10 mL de la solution préparée et les verser dans un erlenmeyer.
- Effectuer le dosage en utilisant la solution de soude 1M en présence d'un indicateur coloré.

· PREPARATION DE 200cm³ DE SOLUTION 0,5M D'ACIDE SULFURIQUE

Soit $M_1 > 0,5$ la molarité de l'acide ainsi préparé.

Soit M_2 la molarité de l'acide désirée (ici on veut préparer une solution de molarité $M_2 = 0,5$)

Soit V_2 le volume d'acide de molarité M_2 désirée : ici $V_2 = 200\text{cm}^3$ pour obtenir une solution de molarité M_2 .

On conseille d'introduire d'abord la quantité d'acide de molarité M_1 en agitant.

· DOSAGE DE VERIFICATION

Effectuer le dosage de la solution finale comme il a été procédé dans la partie B-(2°).

Le texte présenté ci-dessus est rédigé avec des termes appartenant au monde perceptible (fiole jaugée, éprouvette, prélever, solution, dosage..) et des grandeurs (molarité). Aucune relation n'est mise en évidence selon le monde reconstruit.

I.1.3. Description du TP05 « Effet tampon / dosage d'oxydoréduction »

Ce TP comprend deux parties, effet tampon et dosage d'oxydoréduction. Dans notre reconstruction du TP1 nous avons pris en considération uniquement la première puisqu'elle fait partie de notre thème de recherche.

Cette première partie présente une étude théorique sur l'effet tampon en présentant son principe et la manière de préparer des solutions tampons. Dans la partie préparation des solutions tampons, un exemple de préparation d'une solution de pH = 7,4 avec toute la procédure de calcul.

· PREPARATION DE LA SOLUTION TAMPON

On dispose de solution titrée à 0,1M.

- Déterminer par le calcul, le volume de HCl ou NaOH de titre précis qu'il faudrait ajouter à 20mL de la solution choisie pour avoir le rapport [acide] / [base] nécessaire pour former le tampon choisi précédemment.

- Prendre 20mL de la solution choisie et y ajouter le volume calculé de HCl ou de NaOH puis mesurer la valeur de pH de la solution tampon ainsi formée.

Nous constatons comme précédemment, que le texte fourni aux étudiants est rédigé en termes figurant dans le monde perceptible et suivant un mode calculatoire (modèle numérique).

I.1.4. Conclusion

A partir de ce qui précède, nous pouvons constater qu'il reste une grande part d'implicite dans les trois textes des travaux pratiques (TP). Par exemple, dans tous les procédés expérimentaux et les questions à traiter, la réaction chimique n'est jamais prise en compte.

Malgré la présence d'une partie théorique, les objectifs conceptuels ne sont pas identifiables et le texte du polycopié présente les caractéristiques d'un texte à visée pragmatique (RICHARD, 1990).

Les analyses des trois anciens textes de TP mettent en évidence un point que nous estimons faible mais important : l'absence quasi totale d'entraînement à la conception d'expériences dans le but de démontrer quelque chose.

I.2. Description de la version finale du TP1 « Dosage pH-métrique et comparaison des courbes de dosage »

La séance de TP1 que nous avons construite est donnée aux étudiants sous forme de polycopié le jour même de la séance. Nous décrivons tout d'abord le texte du TP1, puis nous caractérisons les objectifs et les connaissances mises en jeu lors de la séance elle-même.

Le texte fourni aux étudiants comprend un court aperçu théorique, une description du matériel et les méthodes à utiliser pour obtenir les mesures à effectuer.

Cependant, le texte final du TP1 présente cinq parties : une première partie traite du principe de fonctionnement du pH-mètre et une deuxième partie concerne le dosage de l'acide chlorhydrique par la soude.

Nous mettons en lumière dans ce qui suit, quelques caractéristiques de ce texte permettant la compréhension des observations qui suivent.

- EXPERIENCE
 - Introduire la solution de soude (0,1M) dans la burette.
 - Prélever 20 mL de la solution à titrer (HCl 0,1M) avec une pipette et l'introduire dans un bécher placé sur le centre d'un agitateur magnétique. Placer le barreau aimanté dans le bécher.
 - Plonger les électrodes du pH-mètre, préalablement rincées et séchées, dans la solution à titrer en ayant soin de régler la hauteur pour que, lors de l'agitation, le barreau aimanté ne risque pas de heurter les électrodes.

- Mettre en marche l'agitateur magnétique en tournant lentement le bouton de commande de l'appareil jusqu'à ce que l'agitation soit régulière et pas trop forte.
- Passer sur la position pH du pH-mètre.
- Noter pour chaque addition de solution titrante la valeur du pH et le porter sur un graphe.
- Une fois le dosage terminé, arrêter le pH-mètre.
- Retirer les électrodes de la solution, les rincer et les immerger dans de l'eau distillée.

Les consignes données aux étudiants sont rédigées uniquement qu'avec des termes appartenant au monde perceptible : « introduire, prélever, solution, burette... » Par contre, les questions proposées dans le travail de réflexion sont catégorisées suivant le monde reconstruit.

Toutefois, notre hypothèse principale de recherche est que les difficultés que rencontrent les étudiants au niveau des acides et des bases relèvent de la non compréhension du concept de réaction chimique.

Lors de la construction des questions de réflexion, nous nous sommes focalisés sur le concept de réaction chimique pour pouvoir détecter le niveau de compréhension de l'étudiant de ce concept à travers les acides et les bases.

Travail de réflexion :

- Ecrire l'équation de la réaction du dosage.
- Indiquer la partie de la courbe correspondant à la réaction du dosage. On indiquera sur la courbe le point A du début de cette réaction et le point B de la fin de cette réaction.
- A quoi correspond la partie de la courbe qui est en dehors des points A et B ?
- Ecrire les relations permettant de déterminer la valeur de la concentration de la solution titrée à partir des données expérimentales.
- Déterminer les concentrations molaire et massique de l'acide à doser.

Dans la troisième partie, nous nous intéressons à réaliser le dosage d'un acide faible CH_3COOH par une base forte NaOH . Un court développement théorique est introduit tout au début de cette partie.

Expérience

On se propose de suivre l'évolution du pH de deux solutions d'acide acétique, l'une de concentration 0,1M (solution S_1) et l'autre 0,01M, par des solutions de soude de même concentration.

Effectuer, dans les deux cas, le dosage à l'aide du pH-mètre en ajoutant avant le dosage deux gouttes d'hélianthine et deux gouttes de phénophtaléine.

On notera, pour chaque ajout de soude, la valeur du pH et la couleur de la solution (les porter sur un tableau).

Suite à cette expérience, nous proposons le travail de réflexion suivant :

· Travail de réflexion

Superposer sur le même schéma la courbe de dosage de l'acide chlorhydrique 0,1M par la soude de même concentration, telle qu'elle a été obtenue en III.

1. Comparer ces deux courbes en indiquant les différences entre elles, en particulier au début du dosage, puis autour de l'équivalence.

2. La courbe obtenue permet-elle de déterminer la concentration de l'acide acétique si elle est inconnue ? Justifier la réponse.

3. Interpréter le changement de couleur de la solution dans chaque cas (en se servant du tableau ci-dessus).

4. Justifier la validité des indicateurs colorés dans chaque cas.

5. Quelle serait l'allure de la courbe de dosage de l'acide acétique (0,01M) par la soude (1M). Comparer cette courbe avec celle correspondant au dosage de la même solution d'acide (0,01M) avec la soude (0,01M).

A travers cette expérimentation, l'étudiant doit faire une distinction entre un acide fort et un acide faible à partir des courbes de dosage. Ces questions de réflexion amènent l'étudiant à réfléchir sur les réactions acido-basiques qui ont eu lieu entre un acide fort (acide chlorhydrique) et une base forte (soude), puis pour celle d'un acide faible (acide acétique) et une base forte.

Dans la quatrième partie de ce TP, nous essayons de faire distinguer par l'étudiant les différences entre un acide fort et un acide faible et de prévoir leur comportement vis-à-vis de la dilution :

· Expérience

Cas de l'acide acétique

Relever parmi vos données expérimentales le pH de la solution S_1 d'acide acétique de concentration 0,1M avant le début du dosage.

A l'aide d'une pipette et d'une fiole jaugée appropriée, diluer 10 fois cette solution S_1 et mesurer le pH de la solution S_1' ainsi obtenue.

Prévoir quel serait le pH d'une solution S_1'' obtenu en diluant 10 fois la solution S_1' .

Cas de l'acide chlorhydrique

En ajoutant de l'eau à la solution d'acide chlorhydrique 0,1M, préparer une solution diluée dont le pH est le même que celui de la solution S_1 . Soit S_2 cette solution.

Diluer 10 fois S_2 ; soit S_2' la solution résultante. Mesurer le pH de S_2' .

Diluer 10 fois S_2' ; soit S_2'' la solution résultante. Mesurer le pH de S_2'' .

Puis un travail de réflexion est proposé :

- Travail de réflexion

1. Comparer le comportement de l'acide chlorhydrique et de l'acide acétique vis-à-vis de la dilution.

2. Peut-on prévoir le comportement du pH de l'acide chlorhydrique suivant la dilution ?

3. Interpréter la variation du pH de la solution S_1 en fonction de la dilution.

Nous nous intéressons dans la dernière partie à l'étude des caractéristiques de la solution dans une zone particulière de pH :

- Expérience

A l'aide d'une éprouvette graduée, introduire 40 mL de la solution d'acide acétique 0,1M dans le bécher. Tout en mesurant son pH, ajouter la solution de soude de concentration 0,1M jusqu'à ce que le pH du mélange soit égal à 4. Soit M_1 cette solution.

Diluer 10 fois un prélèvement de 5 mL de M_1 . Soit M_1' la solution résultante. Mesurer le pH de M_1' .

Ajouter 3 mL de soude au reste de la solution M_1 . Soit M_1'' la solution résultante. Mesurer le pH de M_1'' .

A partir de 40 mL de la solution d'acide chlorhydrique 0,1 M, préparer une solution de pH = 4 par addition de soude, en contrôlant le pH à l'aide du pH-mètre, et en ajoutant la soude progressivement et sous agitation. Soit M_2 la solution obtenue.

- Diluer 10 fois un prélèvement de 5 mL de M_2 . Soit M_2' la solution résultante. Mesurer le pH de M_2' .

- Ajouter 3 mL de soude 0,1 M au reste de la solution M_2 . Soit M_2'' la solution résultante. Mesurer le pH de M_2'' .

La partie réflexion est la suivante :

- Travail de réflexion

Le but de ce travail est de comparer la différence de comportement de la solution M_1 avec celui de M_2 , vis-à-vis de l'addition de soude d'une part et de la dilution d'autre part.

1. Etablir les expressions du pH et développer le calcul permettant d'interpréter le comportement de M_2 vis-à-vis de l'addition de soude, puis vis-à-vis de la dilution.

2. Dans le cas de M_1 , déterminer le nombre de moles de CH_3COOH et de CH_3COO^- en solution à partir du pH de la solution initiale et du pK_a relevés de la courbe de dosage de CH_3COOH (0,1M) réalisée dans l'expérience 2.1.

3. Déterminer le nombre de moles de CH_3COOH et de CH_3COO^- dans M_1'' . En déduire le pH.

4. En utilisant la relation $\text{pH} = \text{pK}_a + \log\left[\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}\right]$, montrer que le pH varie peu entre M_1 et M_1'' .

5. A l'aide de cette même relation, montrer pourquoi le pH varie peu entre M_1 et M_1' .

Lors de la construction de ce TP, nous avons prévu comme durée de réalisation de la séance quatre heures (4h). Or la décision finale revient à l'institution qui a programmé la durée des séances de TP de chimie pour le 1^{er} cycle universitaire est de trois heures (3h). Tenant compte de ce paramètre, nous avons opté pour l'allégement du texte de TP1 en éliminant ses parties V et VI.

I.3. Comparaison des textes de TP

La comparaison des anciens textes et du nouveau texte du TP1 a été faite à l'aide de la carte d'analyse élaborée à partir des travaux de TIBERGHIE & al. (2001). Les textes des anciens TP ont été modifiés au niveau des questions de réflexion à fin de permettre aux étudiants de faire des liens entre les niveaux de connaissances des théories/modèle et le monde reconstruit. Le regroupement des TP01, TP02 et TP05 pour aboutir au TP1 a pour but de montrer aux étudiants la différence entre un acide fort et un acide faible en utilisant différents indicateurs colorés, d'utiliser les résultats du 1^{er} dosage (celui de l'acide chlorhydrique avec la soude) en particulier le graphe donnant l'évolution du pH en fonction du volume de la base.

Nous présentons par la suite les résultats de l'analyse des textes des TP01, TP02, TP05 et TP1 à l'aide de la carte d'analyse présentée par TIBERGHIE & al. (2001) présentée dans le projet « Labwork in Science Education ». Cette carte présente plusieurs dimensions, nous allons procéder dans notre analyse non pas par question de chaque texte de TP, mais plutôt suivant chaque dimension de la carte d'analyse.

I.3.1. 1^{ère} dimension : Objectifs d'apprentissage

La première dimension de la carte traite des résultats espérés et plus précisément des objectifs d'apprentissage explicitement présents dans un texte de TP dans le but d'aider l'élève au niveau du contenu ainsi qu'au niveau du processus d'apprentissage.

Tableau 21: Résultat de la 1^{ère} dimension

| A : Résultat espéré | | | | |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| | TP01 | TP02 | TP05 | TP1 |
| 1 | X | X | X | X |
| 2 | X | X | X | X |
| 3 | X | X | X | X |
| 4 | X | X | X | X |
| 5 | | | | X |
| 6 | X | X | X | X |
| 7 | X | X | X | X |
| 8 | | | | |
| 9 | X | X | X | X |
| 10 | | | | X |
| 11 | | | | |

Légende :

| |
|---|
| 1 : Identifier des objets et des phénomènes et à se familiariser avec eux |
| 2 : Apprendre un ou des fait(s) |
| 3 : Apprendre un concept |
| 4 : Apprendre une relation |
| 5 : Apprendre une théorie/ modèle |
| 6 : Apprendre comment utiliser un instrument de laboratoire courant, ou installer et utiliser un dispositif expérimental classique |
| 7 : Apprendre comment exécuter un mode opératoire classique |
| 8 : Apprendre comment planifier une recherche pour s'attaquer à une question ou à un problème spécifique |
| 9 : Apprendre comment traiter les données |
| 10 : Apprendre comment utiliser des données pour appuyer une conclusion |
| 11 : Apprendre comment communiquer les résultats de leur travail |

A partir du tableau 1, nous pouvons constater que la différence entre les anciens textes et le nouveau texte du TP réside au niveau du 5^{ème} objectif qui porte sur l'apprentissage d'une théorie ou d'un modèle et du 10^{ème} objectif qui indique si le texte du TP aide l'élève à apprendre comment utiliser leurs données pour appuyer une conclusion.

Lorsque nous examinons les 3 anciens textes et à partir des résultats de la 1^{ère} dimension (Tab.21) de la carte, nous remarquons que dans ces TP il y a une absence quasi totale d'entraînement à la conception d'expériences dans le but de démontrer quelque chose.

Cependant, ces anciens textes ne montrent pas d'une manière très explicite l'enjeu de faire les différents dosages, qu'est ce que l'étudiant apprend ? Bien évidemment dans chaque séance de TP, la manipulation est essentielle dans un enseignement expérimental. Si nous penchons sur l'analyse des différentes questions se trouvant dans les textes de ces 3 TP (chapitre méthodologie), nous pouvons constater qu'il s'agit uniquement des questions standard du niveau modèle numérique ce qui conduit l'étudiant à faire uniquement des mesures ou bien des calculs mathématiques.

Les objectifs de l'enseignement des TP au 1^{er} cycle universitaire est d'amener l'étudiant à être vraisemblablement conscient des objectifs conceptuels et théoriques et pas de se limiter à des objectifs tels que ceux limités au savoir-faire et aux méthodes (SÉRÉ & BENEY, 1997), et à réfléchir sur le système chimique qu'il est entrain de manipuler, de construire son savoir à partir des questions guidées qui lui sont posées. C'est à partir de là que notre intervention a commencé dans la modification des différentes questions de réflexion.

Néanmoins, si nous prenons un exemple du nouveau texte de TP1, nous espérons montrer, à partir des questions de réflexion modifiées, que l'étudiant est entrain d'apprendre une théorie ou un modèle et aussi d'apprendre comment utiliser des données pour appuyer une conclusion. En terme du modèle de deux mondes, nous incitons l'étudiant à faire des liens entre les niveaux de connaissances du monde reconstruit et du monde perceptible.

Les deux questions suivantes sont extraites du dosage de l'acide chlorhydrique HCl par la soude NaOH :

Q₂ . *Indiquer la partie de la courbe correspondant à la réaction du dosage. On indiquera sur la courbe le point A du début de cette réaction et le point B de la fin de cette réaction.*

Q3. A quoi correspond la partie de la courbe qui est en dehors des points A et B ?

Dans cette première partie du TP, l'étudiant est amener tout d'abord à réaliser l'expérience, à tracer la courbe puis à répondre aux questions. Ces deux questions font allusion au concept de réaction acido-basique (événement reconstruit), la deuxième question incite l'étudiant à faire un rapport entre la courbe (modèle géométrique) et la réaction du dosage (événement reconstruit), la troisième question guide l'étudiant en lui indiquant qu'il existe une seule partie en dehors des points A et B et non pas deux parties. Cet exemple montre les deux points de différence dégagés à partir de l'analyse entre les anciens textes et le nouveau texte de TP.

I.3.2. 2^{ème} dimension : Caractéristiques de la tâche

I.3.2.1. 1^{ère} sous dimension : Ce que les élèves sont censés faire avec les Objets et les observables

La deuxième dimension (Tab.22) de la carte traite des caractéristiques de la tâche et se divise en cinq sous dimension. La première sous dimension traite de ce que les élèves sont censés faire avec les objets et les observables, nous constatons à partir du tableau 2 qu'il n'y a pas de différence entre les anciens textes et le nouveau texte de TP puisque ça traite de la partie manipulation qui est presque identique pour n'importe quel TP. La partie manipulation est généralement utilisée avec des termes faisant partie du monde perceptible.

Tableau 22 : Résultat de la 1ère sous dimension

| B.1.1 Ce que les élèves sont censés faire avec les objets et les observables | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|------------|
| | TP01 | TP02 | TP05 | TP1 |
| 1 | X | X | X | X |
| 2 | X | X | X | X |
| 3 | X | X | X | X |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | |
| 10 | X | X | X | X |
| 11 | X | X | X | X |

Légende :

| | | |
|--|--|---|
| 1 : Utiliser un appareil d'observation ou de mesure | 2 : Utiliser un appareil de laboratoire ou un montage | 3 : Utiliser un protocole expérimental |
| 4 : Présenter un objet | | |
| 5 : Faire un objet | | |
| 6 : Faire un matériau | | |
| 7 : Faire un événement qui se produit | | |
| 8 : Observer un objet | | |
| 9 : Observer un matériau | | |
| 10 : Observer un événement | | |
| 11 : Observer une quantité | | |

I.3.2.2. 2^{ème} sous dimension : Ce que les élèves sont censés faire avec les Idées

En revanche, la différence réside dans la 2^{ème} sous dimension (Tableau 23) lorsque nous analysons les textes du TP du point de vue ce que les élèves sont censés faire avec les idées. Cette différence se situe au niveau de l'identification d'une régularité, de l'étude de la relation entre les objets et les quantités physiques et au niveau des observations en les expliquant avec des termes d'une théorie ou d'un modèle.

Dans le nouveau texte de TP, nous avons construit une régularité lorsque nous demandons à l'étudiant de comparer les deux courbes du dosage (celle du dosage de l'acide chlorhydrique par la soude et du dosage de l'acide acétique par la soude) en particulier au début du dosage puis autour du point d'équivalence. Cette question incite l'étudiant à faire la différence entre un acide (objet reconstruit) fort (propriété reconstruite) et un acide faible par le biais de la courbe d'évolution du pH en fonction du volume de la soude (modèle géométrique), de même l'observation de ces deux courbes permet à l'étudiant de donner des explications en se basant sur la théorie des acides et des bases (niveau de la théorie). Cette question leur permet de mieux comprendre la réaction acido-basique, qui se traduit en termes d'acide fort et d'acide faible.

Par ailleurs, si nous demandons aux étudiants d'écrire les relations permettant de déterminer la valeur de la concentration de la solution titrée à partir des données expérimentales et par la suite de déterminer les concentrations molaire et massique de l'acide à doser, nous pouvons classer ces deux questions au niveau de la cinquième caractéristique de la tâche qui s'intéresse à l'étude de la relation entre les objets et les quantités physiques. Il s'agit là d'un lien entre les objets reconstruits et les grandeurs.

Tableau 23 : Résultat de la 2^{ème} sous dimension

| B1.2 Ce que les élèves sont censés faire avec les idées | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|------------|
| | TP01 | TP02 | TP05 | TP1 |
| 1 | X | X | X | X |
| 2 | | | | X |
| 3 | X | X | X | X |
| 4 | X | X | X | X |
| 5 | | | | X |
| 6 | | | | |
| 7 | X | X | X | X |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |
| 11 | | | | |
| 12 | | | | X |
| 13 | | | | |
| 14 | | | | |
| 15 | | | | |

Légende :

| |
|---|
| 1 : Noter des observations |
| 2 : Identifier une régularité |
| 3 : Etudier la relation entre des objets 4 : Etudier la relation entre des quantités physiques (variables) 5 : Etudier la relation entre des objets et des quantités physiques |
| 6 : Inventer (ou découvrir) un nouveau concept (une quantité physique ou une entité) |
| 7 : Déterminer la valeur d'une quantité qui n'est pas mesurée directement |
| 8 : Tester une prédiction à partir d'un essai 9 : Tester une prédiction à partir d'une loi 10 : Tester une prédiction à partir d'une théorie (ou un modèle basé sur le cadre théorique) |
| 11 : Rendre compte des observations en termes d'une loi donnée 12 : Rendre compte des observations en termes d'une théorie donnée (ou modèle) 13 : Rendre compte des observations proposition d'une loi 14 : Rendre compte des observations proposition d'une théorie (ou modèle) |
| 15 : Choisir entre deux (ou plusieurs) explications données |

I.3.2.3. 3^{ème} sous dimension : Tâche gouvernée par les Observations ou par les Idées ?

Concernant la troisième sous dimension (Tableau 24), celle-ci s'intéresse si la tâche est gouvernée par les observations ou par les idées, c'est-à-dire en termes du modèle de deux mondes (LE MARECHAL, 1999) : y-a-t-il relation entre les niveaux du monde perceptible et du monde reconstruit. A partir de ce tableau, nous remarquons que dans les anciens textes de TP, il n'y a pas de relation claire entre ce que les étudiants sont censés faire avec les idées et ce qu'ils sont censés faire avec les objets par contre dans les nouveaux textes de TP, ce que les élèves sont censés faire avec les idées découle de ce qu'ils sont censés faire avec les objets et vis versa. Cette différence étant visible dans les réponses des étudiants.

Tableau 24 : Résultat de la 3^{ème} sous dimension

| B.1.3 Tâche gouvernée par les observations ou par les idées ? | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|------------|
| | TP01 | TP02 | TP05 | TP1 |
| 1 | | | | X |
| 2 | | | | X |
| 3 | X | X | X | |

Légende :

| |
|--|
| 1 : Ce que les élèves sont censés faire avec les idées découle de ce qu'ils sont censés faire avec les objets ? |
| 2 : Ce que les élèves sont censés faire avec les objets découle de ce qu'ils sont censés faire avec les idées ? |
| 3 : Il n'y a pas de relation claire entre ce que les élèves sont censés faire avec les idées et ce qu'ils sont censés faire avec les objets |

1.3.2.4. 4^{ème} sous dimension : Degré d'ouverture ou de fermeture

Par contre, le tableau 25 traite de la 4^{ème} caractéristique qui évalue l'aspect de la tâche du TP et à qui revient l'initiative dans les différents aspects, soit imposée par l'enseignant, soit décidée par une discussion entre enseignant et élèves ou bien choisi par l'élève lui-même. A partir des analyses des textes, nous constatons que pour tous les TP, l'interprétation des résultats est à la charge de l'étudiant.

Tableau 25 : Résultat de la 4^{ème} sous dimension

| B1.4 Degré d'ouverture ou de fermeture | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|------------|
| | TP01 | TP02 | TP05 | TP1 |
| 1 | a | a | a | a |
| 2 | a | a | a | a |
| 3 | a | a | a | a |
| 4 | a | a | a | a |
| 5 | c | c | c | c |

Légende :

| |
|--|
| 1 : La question à résoudre |
| 2 : L'équipement à utiliser |
| 3 : Le mode opératoire à suivre |
| 4 : Les méthodes de traitement des données recueillies |
| 5 : L'interprétation des résultats |
| a : Imposée par l'enseignant |
| b : Décidée par une discussion entre enseignant et élèves |
| c : Choisi par l'élève |

1.3.2.5. 5^{ème} sous dimension : Nature de l'implication de l'élève

Concernant la nature de l'implication de la tâche (Tab. 26), cette sous dimension ne donne pas une information originale lorsque nous analysons les textes de TP. Les étudiants sont supposés travailler généralement en des petits groupes et l'expérience réalisée par l'enseignant est à exclure.

Tableau 26 : Résultat de la 5^{ème} sous dimension

| B.1.5 Nature de l'implication de l'élève | | | | |
|--|------|------|------|-----|
| | TP01 | TP02 | TP05 | TP1 |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | X | X | X | X |
| 4 | | | | |

Légende :

| |
|---|
| 1 : Expérience réalisée par l'enseignant, l'élève observe |
| 2 : Expérience réalisée par l'enseignant, l'élève observe et participe sous la direction de l'enseignant (par exemple en faisant des observations ou des mesures) |
| 3 : Expérience menée par les élèves en des petits groupes |
| 4 : Expérience menée par chaque élève seul |

I.3.3. 3^{ème} dimension : Contexte de la tâche

La troisième dimension de la carte décrit quelques caractères importants du contexte de la tâche lors de son exécution telles que la durée, les personnes avec qui l'élève interagit, les sources d'information disponibles pour l'élève et le types d'appareils utilisés.

I.3.3.1. 1^{ère} sous dimension : Durée de la tâche

La durée de la tâche (Tab. 27) dépend du choix de l'institution et du département dans la gestion des horaires, à savoir que les anciens TP ont été programmés pour quatre heures et les nouveaux pour trois heures.

Tableau 27 : Résultat de la 1^{ère} sous dimension

| B.2.1 Durée | | | | |
|-------------|------|------|------|-----|
| | TP01 | TP02 | TP05 | TP1 |
| 1 | | | | |
| 2 | X | X | X | X |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |

Légende :

| |
|---|
| 1 : Très courte (20 minutes) |
| 2 : Courte (une séance jusqu'à 80 minutes) |
| 3 : Moyenne (2-3 leçons) |
| 4 : Longue (2 semaines ou plus) |

1.3.3.2. 2^{ème} sous dimension : Personnes avec qui l'élève interagit

Généralement, au niveau supérieur, les étudiants interagissent soit avec les autres élèves réalisant la même tâche de TP, soit avec l'enseignant. Cette sous dimension (Tab. 28) est identique que ce soit pour les anciens TP soit pour les nouveaux.

Tableau 28 : Résultat de la 2^{ème} sous dimension

| B.2.2 Personnes avec qui l'élève interagit | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|------------|
| | TP01 | TP02 | TP05 | TP1 |
| 1 | X | X | X | X |
| 2 | | | | |
| 3 | X | X | X | X |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |

Légende :

| |
|--|
| 1 : Autres élèves réalisant la même tâche de TP |
| 2 : Autres élèves qui ont déjà fait cette tâche |
| 3 : Enseignant |
| 4 : Elèves plus avancés |
| 5 : Autres (techniciens, ...) |

1.3.3.3. 3^{ème} sous dimension : Sources d'informations disponibles pour l'élève

A l'université, l'étudiant est en possession de plusieurs sources d'information mis à part la feuille de TP telles que les livres, les notices d'appareils, les bases de données informatisées, etc..

Dans la plupart des cas, la feuille de TP est donnée à l'étudiant à l'avance, ce qui lui laisse le temps pour la lire et d'avoir une idée sur ce que nous lui demandons de faire avant de l'entreprendre.

Le tableau ci-dessous (Tab. 29) traite des moyens d'informations qui sont mises à la disposition de l'étudiant pendant une séance de TP.

Tableau 29 : Résultat de la 3^{ème} sous dimension

| B.2.3 Sources d'information disponibles pour l'élève | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|------------|
| | TP01 | TP02 | TP05 | TP1 |
| 1 | X | X | X | X |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |

Légende :

| |
|---|
| 1 : Feuille de TP |
| 2 : Livres |
| 3 : Notices (des appareils), livre de données, ... |
| 4 : Base de données informatisées |
| 5 : Autres |

I.3.3.4. 4^{ème} sous dimension : Types d'appareils utilisés

La dernière sous dimension (Tableau 30) montre que l'équipement de laboratoire standard est le plus commun des matériels utilisés.

Tableau 30 : Résultat de la 4^{ème} sous dimension

| B.2.4 Type d'appareils utilisés | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|------------|
| | TP01 | TP02 | TP05 | TP1 |
| 1 | X | X | X | X |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |

Légende :

| |
|--|
| 1 : Equipement de laboratoire standard |
| 2 : Equipement de laboratoire standard interfacé à un ordinateur |
| 3 : Equipement de la vie quotidienne (balance de cuisine, matériaux ou équipements domestiques) |

A partir de l'analyse des textes de TP (anciens et nouveaux) par l'intermédiaire de la carte et le modèle de deux mondes, nous pouvons conclure que les anciens textes de TP n'explicitent pas clairement les objectifs d'apprentissage pour chaque tâche, ne montrent pas ce que les étudiants sont censés faire avec les idées et ne présentent pas une relation claire entre ce que les étudiants sont censés faire avec les idées et ce qu'ils sont censés faire avec les objets. En d'autres termes, les anciens textes de TP n'aident pas les étudiants à établir des liens entre les différents niveaux de connaissances tels que le

niveau des théories/modèles et le monde reconstruit.

Il est possible de dégager à partir de l'analyse par le biais de la carte, une image de ce que devrait être un texte de travaux pratiques : les activités proposées aux étudiants devraient être en accord avec les objectifs d'apprentissage et devraient contribuer de façon importante au développement cognitif des étudiants.

II. Connaissances en jeu dans le TP1

Cette partie illustre les objectifs d'apprentissage que nous avons visé lors de la construction de ce TP, ainsi que les connaissances mises en jeu pour un dosage d'acide fort/base forte et un dosage d'acide faible/base faible.

II.1. Objectifs d'apprentissage

Notre principal objectif d'apprentissage dans ce TP est à la base des objectifs visés dans les TP SOC et du projet « Labwork in Science Education ». De ce fait, nous voulons aider les étudiants à mettre en relation la théorie et les objets et événements reconstruits.

En d'autres termes, le TP1 a pour objectif de faire prendre conscience aux étudiants, après examen des données et des résultats expérimentaux (mesures et événements), de la nécessité de la mise en évidence de la réaction acido-basique lors d'un dosage d'un acide fort et d'un acide faible. Il s'agira également de les amener à comparer les courbes de dosages entre acide fort et acide faible par une solution de soude.

II.2. Connaissances mises en jeu

Dans ce TP, nous avons cherché à mettre en évidence la relation qui existe entre la réaction acido-basique et la courbe du dosage.

Les activités des étudiants dans ce TP sont de deux ordres:

- Expérimentales puisqu'il s'agit en premier lieu de conduire correctement l'expérience en suivant les consignes écrites dans le texte par le chercheur ;
- Conceptuelles puisque nous visons, dans la plupart des questions, à ce que les étudiants construisent une signification chimique cohérente au concept de réaction acido-basique.

Dans ce 1^{er} TP, l'étudiant est amené tout d'abord à réaliser un 1^{er} dosage entre un acide fort et une base forte. Dans cette 1^{ère} partie, l'étudiant doit mettre en évidence la réaction chimique dans chacune des questions relatives à la courbe et aux calculs des concentrations. Avec les termes de notre cadre théorique, l'étudiant doit repérer un événement reconstruit (réaction chimique) à toute une classe de situations, puis de faire des liens entre caractères perceptibles et des grandeurs mesurables, qui sont les mêmes modalités d'activité dans tout le TP.

Dans la 2^{ème} partie de ce TP, l'étudiant réalise un dosage entre un acide faible et une base forte ; pour cela il doit faire la différence entre les courbes de dosages d'un

acide fort et d'un acide faible par une base forte et aussi, l'influence de la concentration sur l'allure de la courbe.

III. Résultats concernant la comparaison des productions écrites

L'objectif de cette partie est de faire une comparaison entre l'ancienne version du TP1 et celle de la nouvelle version, sachant que l'ancienne version du TP1 est un ensemble formé de trois TP (voir chapitre méthodologie).

Nous allons procéder par une comparaison des réponses des binômes aux mêmes questions appartenant à chacune des deux versions. Cette comparaison va permettre de dégager les réponses aux questions suivantes :

- Est-ce que l'ancienne version du TP1 fait ressortir les difficultés des étudiants vis-à-vis du dosage de l'acide fort / base forte et l'acide faible / base forte?
- Quelles sont les difficultés qui ressortent de la nouvelle version du TP1 ?

Ensuite, nous allons donner une validation interne du nouveau TP par le biais des résultats des transcriptions de l'étude de cas. Il s'agit dans cette dernière partie de, spécifier certaines caractéristiques de l'activité d'un binôme enregistré à partir de l'analyse des transcriptions de dialogues lors de la de la réalisation du TP1.

Cette analyse, en comparaison avec l'analyse *a priori*, fournit les premiers éléments de réponses aux questions suivantes:

- Quelles sont les connaissances prises en compte par le binôme ? y-a-t-il eu dévolution ?
- Comment ces connaissances sont-elles mises en œuvre ?
- Est-ce que les relations établies par le binôme, entre les informations appartenant aux différents niveaux de connaissances, favorisent l'apprentissage et la construction du sens du concept de réaction acido-basique lors de la réalisation d'une tâche ?

Ces niveaux de connaissances sont induits par la façon dont les tâches que nous avons proposées dans les nouveaux TP sont formulées. Cette formulation a une originalité par rapport aux anciens TP parce qu'elle a un rôle expérimental et de réflexion.

Etant donnée que les questions figurant dans la nouvelle version ne sont pas toutes les même dans l'ancienne version, nous avons opté d'analyser en premier lieu les questions identiques dans les deux versions du TP, puis de traiter les questions appartenant à la nouvelle version du TP1 qui nous semblent importantes dans notre recherche.

III.1. Résultats de la 1^{ère} question

Cette question existe dans les deux versions du 1^{er} TP, elle est toujours posée au début de chaque travail de réflexion.

La question adressée aux étudiants était la suivante :

Ecrire l'équation de la réaction du dosage.

Cette question sera analysée à partir de la production écrite de 40 binômes pour les deux versions et suivant la même grille d'analyse.

III.1.1. Ancienne version (T01) et nouvelle version (TP1)

Dans cette question, nous avons classé les réponses des 40 binômes selon le type de lien mobilisés par l'ensemble des binômes (Tab.31).

Tableau 31 : Répartition des réponses écrites de l'ancienne version et de la nouvelle version du TP1 selon les niveaux de connaissances

| Types de liens entre les niveaux de connaissances | Nombre de copies TP01 | Nombre de copies TP1 |
|---|-----------------------|----------------------|
| [o ; é] | 25 (62,5 %) | 33 (82,5 %) |
| [o ; é] [é ; p] | 1 (2,5 %) | 0 (0 %) |
| [o ; é] [o ; p] | 4 (10 %) | 5 (12,5 %) |
| [o ; é] [o ; p] [é ; p] | 0 (0 %) | 2 (5%) |
| Pas de réponse | 10 (25 %) | 0 (0 %) |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

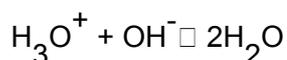
D'après ce tableau, nous constatons que la majorité des binômes se contentent d'écrire l'équation de la réaction sans donner un fondement théorique au système chimique réactionnel, comme si c'était une équation mathématique qu'ils doivent l'appliquer sans y réfléchir.

Parmi 82,5% des réponses, trois binômes ont fourni l'équation de la réaction du dosage, les autres passent par l'écriture des équations de réactions d'ionisation et par l'équation-bilan.

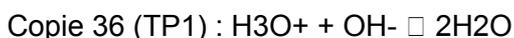
Par contre pour l'ancienne version du TP1 (62,5 %), deux binômes écrivent l'équation relative à la réaction du dosage et quatre autres suivent le raisonnement habituel des étudiants, c'est-à-dire le passage par les équations de réactions d'ionisation puis l'équation-bilan.

Dans l'écriture de l'équation de la réaction du dosage, nous avons constaté deux types de réponses à la question, valable pour les deux versions du TP :

- Pour la nouvelle version du TP1, 15 binômes (37,5%) fournissent une réponse favorable relative à l'équation de la réaction du dosage selon le point de vu du savoir savant :

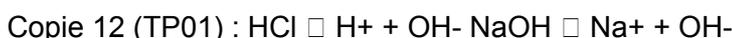


Cette réponse est fournie suivant deux types de démarche : soit elle est donnée directement par le binôme (3 binômes), soit ils écrivent les deux équations de réactions d'ionisation, l'équation-bilan puis l'équation de la réaction du dosage (12 binômes) :



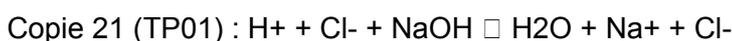
Copie 38 (TP1) : $\text{HCl} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$ $\text{NaOH} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{OH}^-$ c'est un dosage d'acide fort par une base forte donc la réaction est totale : $\text{H}^+\text{Cl}^- + \text{Na}^+\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{Na}^+\text{Cl}^-$ $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}$

Par contre pour l'ancienne version du TP1, 7 binômes (17,5 %) fournissent une réponse conforme au savoir savant.



$(\text{H}^+, \text{Cl}^-) + (\text{Na}^+, \text{OH}^-) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + (\text{Na}^+, \text{Cl}^-)$ $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}$ c'est une réaction de neutralisation

25 binômes du TP1 (62,5%) et 23 binômes (57,5%) du TP01, ne fournissent pas l'équation de la réaction du dosage, mais seulement l'équation-bilan.



Pour la nouvelle version du TP1, une minorité de binômes (5%) a pris en considération le lien entre l'événement reconstruit et la propriété reconstruite (réaction totale), mis à part les deux liens déjà existant entre l'objet-événement reconstruit (l'écriture de l'équation de la réaction est catégorisée comme un lien entre les espèces chimiques présentes en solution et la réaction entre eux) et l'objet-propriété reconstruit.

Copie 7 (TP1) : $\text{H}^+ + \text{Cl}^- + \text{Na}^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ Na^+ et Cl^- sont inertes d'où l'équation bilan $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}$ Réaction pratiquement totale car $K = 1/K_e = 10^{14}$

Copie 38 (TP1) : $\text{HCl} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$ $\text{NaOH} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{OH}^-$ c'est un dosage d'acide fort par une base forte donc la réaction est totale : $\text{H}^+\text{Cl}^- + \text{Na}^+\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{Na}^+\text{Cl}^-$ $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}$

Nous constatons, d'après le tableau 31, que ce type de lien est absent de l'ancienne version mais nous pouvons dire qu'il existe sous une autre forme, c'est - à -dire que le binôme présente sa réponse suivant un lien entre objet-événement reconstruit et événement-propriété reconstruit sans passer par une justification de la propriété de l'objet reconstruit. Par contre, ceux qui ont fait les deux types de liens entre objet-événement reconstruit et objet-propriété reconstruit (12,5% pour le TP1), trois d'entre eux ont fourni l'équation bilan et les propriétés des ions Na^+ et Cl^- , par contre les deux autres binômes ont procédé de la manière suivante : ils donnent l'équation bilan, les propriétés des ions puis l'équation de la réaction.

Copie 14 (TP1) : $\text{NaOH} + \text{HCl} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$ avec Na^+ est un acide inerte et Cl^- base inerte

Copie 37 (TP1): $\text{NaOH} + \text{HCl} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ Na^+ et Cl^- sont des ions inertes

donc on peut les simplifier on aura $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$

Par contre 10 % des binômes appartenant aux TP01, font le même type de lien :

Copie 6 (TP01) : $NaOH + HCl \rightarrow Na^+ + Cl^- + H_2O$ avec Na^+ est un acide inerte et Cl^- base inerte

Copie 32 (TP01): $NaOH + HCl \rightarrow (Na^+ + OH^-) + (H^+ + Cl^-)$ on a Na^+ et Cl^- sont des ions indifférents d'où l'équation du dosage devient $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$

Cependant, nous constatons que pour la majorité des étudiants (62,5% dans la nouvelle version et 57,5 % dans l'ancienne version), il y a une confusion entre l'équation bilan et l'équation de la réaction du dosage, même ceux qui ont fourni une réponse correcte (37,5% dans la nouvelle version et 17,5% dans l'ancienne version) passent systématiquement par l'équation bilan.

Bien qu'il s'agisse d'une question habituelle en chimie et que c'est un résultat du cours de terminale, 10 binômes appartenant à l'ancienne version n'ont pas répondu à cette question.

III.1.2. Résultats concernant les productions verbales

Dans cette partie, nous allons valider les résultats trouvés dans les deux versions de TP1, par une étude sur la production verbale du binôme enregistré. L'analyse de la transcription va nous permettre de déterminer l'activité cognitive du binôme lors de la résolution des tâches.

Notre analyse des données de la transcription, nous allons prendre aussi en considération les différents types de relations, c'est-à-dire que la mise en relation peut être interne à un niveau de connaissance ou entre niveaux différents dans ce cas nous l'appelons relation externe. Ce type d'analyse nous permet de déterminer la démarche de la construction du savoir du binôme.

A partir des transcriptions des dialogues du binôme enregistré lors de la réalisation du TP1, nous avons regroupé dans un tableau les grandes phases de résolution des différentes tâches qui vont nous permettre de mieux lire les transcriptions.

Tableau 32 : Récapitulatif sur les différentes phases de l'activité du binôme telle que nous les trouvons à partir de la transcription

| Numéros d'interventions | Caractéristiques des différentes phases | Questions traitées |
|--|--|--------------------------------------|
| 1 – 107 108 – 115 116 – 127 128 – 152 153 – 156 157 – 162 | Description de la courbe de titrage Lecture de la question 1 Réflexion sur la réponse à la question 1 Ecriture de l'équation de la réaction Propriété de l'objet reconstruit Na^+ Réécriture de l'équation de la réaction avec beaucoup plus de précision | 1 ^{er} dosage Question 1 |
| 163 – 164 165 – 177 178 – 189 | Lecture et réponse à la question 2 Rectification d'une faute apparue dans leurs réponses à la question 2 Reformulation de la réponse | Question 2 |
| 190 – 196 197 – 211 212 – 222 | Lecture de la question 3 Essai d'identification des deux parties de la courbe Explication de la caractéristique de la 1 ^{ère} partie de la courbe Explication de la caractéristique de la 2 ^{ème} partie de la courbe | Question 3 |
| 223 – 229 230 – 234 235 – 246 247 – 267 268 - 281 | Lecture de la question 4 Détermination de la concentration Identification d'un problème se trouvant dans le texte du TP Ecriture de la relation au point d'équivalence permettant de calculer la concentration Recherche des coordonnées du point d'équivalence à partir de la courbe de titrage Application numérique | Question 4 |
| 282 – 284 285 – 293 294 – 298 299 - 307 | Lecture de la question 5 Ecriture des relations qui donnent la concentration de la solution Ecriture de l'équation de la réaction du dosage Application numérique | Question 5 |
| 308 – 310 | Réalisation de l'expérience Traçage de la courbe | 2 ^{ème} dosage |
| 311 – 315 316 – 341 342 – 355 356 – 374 375 – 407 | Lecture de la question 1 Réflexion sur la question Description des deux courbes Détermination des coordonnées du point d'équivalence E1 Détermination des coordonnées du point d'équivalence E2 Comparaison des deux courbes de dosage | Question 1 |
| 408 – 409 410 – 425 | Lecture de la question 2 Réponse à la question | Question 2 |
| 426 – 427 428 – 451 452 – 467 | Lecture de la question 3 Explication du changement de couleur de l'hélianthine Explication du changement de couleur du phénolphtaléine | Question 3 |
| 468 – 471 | Lecture de la question 4 Pas de réflexion sur cette question | Question 4 |
| 472 – 482 483 – 520 521 – 522 523 – 540 541 – 546 | Lecture de la question 5 Réflexion sur cette question Ecriture des réactions chimiques Propriété d'un sel dans une réaction Calcul de | Question 5 |

| | | | |
|-----------|-----------|---|--|
| 547 – 562 | 563 - 564 | la concentration de A ⁻ Réflexion sur la question Calcul du pH de la solution Conclusion sur l'allure de la courbe | |
|-----------|-----------|---|--|

Nous avons choisit de ne transcrire ni la partie où les étudiants sont entrain de réaliser l'expérience ni la phase du tracer de la courbe, puisqu'à ce niveau les deux étudiants ne donnent aucune information pertinente à notre étude.

Taoufik – : pour VB = 0

Nader – : pH = 1,35

Taoufik – : 1

Nader – : pH = 1,38

Dans l'analyse de chacune des questions, nous avons compté pour chaque intervention les propositions qui mettent en jeu soit un seul niveau de connaissances, soit un niveau au sein duquel il n'y a que des relations internes, soit les relations entre les niveaux (relation externe).

Nous récapitulons, par la suite, sous forme de tableau la comparaison entre l'analyse *a priori* et celle de l'activité du binôme.

Avant de traiter la première question de ce TP, le binôme enregistré procède en premier lieu à une interprétation de la courbe. Nous tenons à remarquer que le texte du TP, ne mentionne pas cette consigne.

Taoufik – 6 : Interprétation de la courbe

Après le traçage de la courbe, ce binôme décrit la courbe d'une manière proprement géométrique.

Taoufik – 8 : Notre courbe a une allure croissante /

Nader – 9 : On remarque que cette courbe (::) / consiste des trois parties / (... ?)

Taoufik – 10 : Elle comporte trois parties elle est composée de trois parties

Pour ce binôme, la partie la plus importante de la courbe reste la partie intermédiaire qui n'est autre que le saut de pH englobant le point d'équivalence.

Nous constatons que pour ce binôme, la courbe du dosage présente deux caractéristiques importantes : le saut de pH et le point d'équivalence.

Aussi, nous remarquons d'après leurs dialogues qu'ils font un transfert de connaissances du problème chimique à un problème mathématique.

Dans sa réponse à la 1^{ère} question, le binôme enregistré utilise le niveau événement du monde reconstruit qui est parfois en relation avec le niveau objet du même monde. La réaction chimique est mise en jeu selon sa représentation symbolique qui est l'équation chimique.

Pour répondre à cette question, l'étudiant soit mobilise des liens uniquement interne au monde reconstruit, soit ne fait aucun lien avec les autres niveaux.

Le tableau ci-dessous illustre la fréquence de l'utilisation de chacun des niveaux de

savoirs et le type de relation existant entre eux.

| Sans relation | | | Relation interne | | | |
|---------------|-----|-----|------------------|---------|---------|---------|
| [é] | [o] | [p] | [é : o] | [é : p] | [p : o] | [O : o] |
| 7 | 4 | 1 | 7 | 1 | 2 | 1 |

Légende

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[O] : objet perceptible

Tableau 33: Niveaux de connaissances et types de liens mis en oeuvre dans la transcription

Ce tableau (Tab.33) montre que les niveaux événement et objet reconstruits, sont les plus utilisés dans la production verbale de ce binôme. De même, la mise en relation est de type interne puisqu'elle se fait d'une manière fréquente entre l'événement et l'objet du monde reconstruit.

Nous constatons, d'après ce tableau, qu'écrire la réaction du dosage nécessite la mise en oeuvre du lien entre l'événement reconstruit et les objets reconstruits.

Nous présentons par la suite, la procédure de comptage qui permet de donner les valeurs présentes du tableau, qui sera par la suite identique pour chaque question.

Nous avons suivi une démarche précise dans la classification des propositions (voir chapitre méthodologie) : la répétition immédiate d'un même contenu n'est pas comptabilisée, lorsqu'elle n'est pas modifiée, contrairement à une répétition différée, qui sera classée.

Les niveaux de connaissances que nous avons codés pour chaque tour de parole, sont présents entre parenthèses et en gras :

Tableau 34: Exemple de codage à partir de la transcription des niveaux de connaissances et types de liens mis en oeuvre dans la question 1

Apprentissage des réactions acido-basiques : Mise en évidence et remédiation des difficultés des étudiants lors d'une séquence d'enseignement expérimental

| Numéro d'intervention | Locuteur | Dialogue | Niveaux utilisés et types de liens |
|-----------------------|------------------|---|------------------------------------|
| 116 : | Nader | (...?) / Nous écrivons l'équation | (é) |
| 117 : | Taoufik | On tiré on tire maanéthha (ça veut dire) l'équation de la réaction du dosage | |
| 118 : | Nader | Premièrement | |
| 119 : | Taoufik | Equation / quifèch tétéktéb (comment ça s'écrit) équation de la réaction | (é) |
| 120 : | Nader | Equation bilan | |
| 121 : | Taoufik | (...?) les deux demi équations | (é) |
| 122 : | Nader | Les deux demi équations voilà | |
| 123 : | Taoufik | éktébhom Nader (écrit les) (...?) | |
| 124 : | Nader | Une première équation on a / on a NaOH donne Na ⁺ plus OH HCl donne H ⁺ plus Cl | (O,o) (é,o) |
| 125 : | Taoufik | Première question / l'équation de la réaction est composée | (é) |
| 126 : | Nader | \de deux demis (::)équations | |
| 127 : | Taoufik | \de deux demis équations / de deux demis équations bien louwéla chnouwa (la première c'est quoi) | (é) |
| 128 : | Nader | NaOH | (o,é) |
| 129 : | Taoufik | donne | |
| 130 : | Nader | Na ⁺ | (o) |
| 131 : | Taoufik | Na ⁺ plus | |
| 132 : | Nader | OH | |
| 133 : | Taoufik | Voilà | |
| 134 : | Nader | Deuxième équation HCl | (é,o) |
| 135 : | Taoufik | HCl donne | |
| 136 : | Nader | plus Cl ⁻ | |
| 137 : | Taoufik et Nader | L'équation bilan / | (é) |
| 138 : | Nader | NaOH plus / | (o,é) |
| 139 : | Taoufik | NaOH | (o) |
| 140 : | Nader | plus HCl | |
| 141 : | Taoufik | donne | |
| 142 : | Nader | HCl | (o) |
| 143 : | Taoufik | plus OH ⁻ | |
| 144 : | Nader | plus HCl | |
| 145 : | Taoufik | HCl donne H ⁺ + Cl ⁻ (...?) | (o,é) |
| 146 : | Nader | On écrit on a NaOH plus HCl / | |
| 147 : | Taoufik | NaOH plus HCl donne | |
| 148 : | Nader | Taatina (nous donne) Cl ⁻ | |
| 149 : | Taoufik | Cl ⁻ plus | |
| 150 : | Nader | plus H ₂ O | |

| | | | |
|-------|---------|--|----------------|
| 151 : | Taoufik | H ₂ O | (o) |
| 152 : | Nader | plus Na (::) ⁺ / tu n'as pas avoir Na ⁺ dans l'équation on peut éliminer on peut écrire directement NaOH plus HCl taatina (nous donne) Cl ⁻ plus H ₂ O / | (o,é) |
| 153 : | Taoufik | Héthéya (celui là) inerte éh (n'est ce pas) | (p) |
| 154 : | Nader | Oui khatir (parce que) euh devient des sels alors qu'ici | |
| 155 : | Taoufik | Oui (...?) je suis d'accord bon | |
| 156 : | Nader | N'a pas un rôle dans la réaction / | (p,é) |
| 157 : | Nader | Equation bilan deuxièmement | (é) |
| 158 : | Taoufik | Itnahiha héthi (tu l'enlèves celle ci) | |
| 159 : | Nader | Oui | |
| 160 : | Taoufik | NaOH plus HCl donne Cl ⁻ + H ₂ O / car Na ⁺ n'a pas / n'a pas d'effet héka (c'est ça) / | (o,é) et (o,p) |
| 161 : | Nader | Ouih | |
| 162 : | Taoufik | Na ⁺ n'a pas d'effet ! (...?) | (o,p) |

A partir de la transcription, nous dégageons les conclusions suivantes :

- Le binôme ne sait pas écrire une équation de la réaction du dosage

Taoufik- 119 : Equation / quifèch tétéktéb (comment ça s'écrit) équation de la réaction

- L'équation de la réaction du dosage ($H^+ + OH^- \square H_2O$) est assimilée à l'équation bilan ($NaOH + HCl \square H_2O + Na^+ + Cl^-$)

Nader-120 : Equation bilan

Taoufik-125 : Première question / l'équation de la réaction est composée

Nader-126 : \ de deux demis (::)-équations

- La réponse à la question est considérée comme fausse

Taoufik-160 : NaOH plus HCl donne Cl⁻ + H₂O / car Na⁺ n'a pas / n'a pas d'effet héka (c'est ça) /

Nader-161 :Ouih

Taoufik-162 :Na⁺ n'a pas d'effet ! (...?)

Nous présentons dans le tableau (Tab.35) qui suit, une comparaison entre les niveaux de connaissances mis en jeu dans l'analyse *a priori*, pour avoir une réponse acceptable du point de vue du savoir savant et l'activité réelle du binôme enregistré :

| Analyse a priori | | | Activité du binôme | | | |
|------------------------------|---------|---------|--------------------|---------|---------|---------|
| [O : o] | [o : é] | [é : p] | [O : o] | [é : o] | [é : p] | [p : o] |
| Légende : | | | | | | |
| [é] : événement reconstruit | | | | | | |
| [o] : objet reconstruit | | | | | | |
| [p] : propriété reconstruite | | | | | | |
| [O] : objet permétable | | | | | | |

Tableau 35 : Comparaison entre l'analyse a priori et l'activité du binôme

A partir de ce tableau, nous constatons que seul le lien entre la propriété reconstruite et l'objet reconstruit n'existe pas dans l'analyse *a priori*. Ceci est dû à ce que le binôme raisonne sur la propriété de l'objet (Na^+ n'a pas d'effet).

Taoufik-160 : NaOH plus HCl donne $\text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$ / car Na^+ n'a pas / n'a pas d'effet héka (c'est ça) /

III.1.3. Conclusion

A partir du tableau 11, nous constatons que pour les deux versions du TP1, la réponse des majorités des binômes (82,5 % et 62,5 %) mobilisent le lien [o ; é], c'est-à-dire que les étudiants écrivent les entités chimiques présentes en solution reliée par une représentation symbolique qui est l'équation chimique sans donner une propriété caractéristique de la réaction mise en jeu entre un acide fort/base forte. Pour les deux versions du TP1, une minorité des étudiants (2,5 % et 5 %) présentent un fondement théorique dans leur écriture de l'équation de la réaction du dosage.

Toutefois, dans les deux versions du TP1, nous constatons le passage systématique des étudiants par l'écriture de l'équation-bilan, qui leur permette de déterminer le système réactionnel.

Cependant, nous remarquons que le binôme enregistré a suivi la même démarche que celle prévue dans l'analyse *a priori*, selon le savoir savant, ce qui nous conduit à dire qu'il y a eu dévolution et que la situation proposée est effectivement adidactique.

Nous pouvons conclure que, l'écriture de l'équation de la réaction du dosage se limite pour les étudiants, à une écriture de l'équation bilan.

III.2. Résultats de la 2^{ème} question

Cette question existe est formulée différemment dans les deux versions du 1^{er} TP. Dans l'ancienne version, elle est posée de la façon suivante :

Calculer les concentrations molaire et massique avec les incertitudes. Présenter les résultats sous forme $X = (a \pm \square a)$ unité.

Par contre, dans la nouvelle version, cette question suit deux étapes : une étape de réflexion et une étape de calcul.

- Ecrire les relations permettant de déterminer la valeur de la concentration de la solution titrée à partir des données expérimentales.

- Déterminer les concentrations molaire et massique de la solution à doser.

Tenant compte de la différence entre ces deux questions, nous supposons que l'activité cognitive des binômes sera différente pour les deux versions, et le type de liens mobilisés sera beaucoup plus riche dans la nouvelle version du TP1.

III.2.1. Ancienne version (TP01) et nouvelle version (TP1)

Nous avons codé les réponses des 40 binômes suivant la grille d'analyse décrite dans le cadre théorique. Le tableau ci-dessous (Tab.36), illustre les différents types de liens utilisés par les binômes dans leur réponse.

Tableau 36 : Répartition des réponses écrites de l'ancienne version et de la nouvelle version du TP1 selon les niveaux de connaissances

| Types de liens entre les niveaux de connaissances | Nombre de copies TP01 | Nombre de copies TP1 |
|---|-----------------------|----------------------|
| M.num | 16 (40%) | 1 (2,5%) |
| [é ; M.num] M.num | 9 (22,5 %) | 13 (32,5%) |
| [é ; G] [G ; o] [G ; M.num] M.num | 5 (12,5%) | 17 (42,5%) |
| [G ; o] [G ; M.num] M.num | 0 (0%) | 3 (7,5%) |
| [é ; M.num] [é ; G] M.num | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [é ; M.num] [M.géo ; G] M.num | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [é ; p] [p ; G] [G ; o] [G ; M.num] M.num | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [é ; o] [o ; p] [é ; p] [é ; M.num] M.num | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [G ; o] [o ; p] [p ; M.num] M.num | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [é ; G] [G ; o] [o ; p] M.num | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [M.géo ; G] M.num | 2 (5 %) | 0 (0%) |
| Pas de réponse | 8 (20%) | 0 (0%) |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[G] : grandeur

[M.num] : modèle numérique

[M.géo] : modèle géométrique

Nous remarquons que, dans l'ancienne version du TP, presque la moitié des étudiants (40%) utilisent uniquement le niveau du modèle numérique, ce qui confirme nos résultats sur l'analyse des questions de chaque TP (voir chapitre méthodologie). Par contre un seul binôme (2,5%) appartenant à la nouvelle version du TP, passe directement par le calcul :

Copie 1 (TP01) : $C_b = C_a V_a / V_b$

Copie 24 (TP1) : $C_a V_a = C_b V_b E$ donc $C_a = C_b V_b E / V_a$

Cependant, dans l'ancienne version du TP, 22,5 % des étudiants appliquent la formule $CAVA = CBVB$ à l'équivalence, alors que pour la nouvelle version le pourcentage est beaucoup plus important, il relève de 32,5% ce qui prouve que le niveau de l'événement reconstruit apparaît autant de fois dans la nouvelle version que dans l'ancienne version.

Copie 4 (TP01) : à l'équivalence on a $CaVa = CbVbE$ donc $Cb = CaVa / VbE$

Copie 23 (TP1): à l'équivalence on a $CAVA = CBVBE$ on peut tirer la concentration de la solution tiré $CA = VBECB / VA$

Une minorité d'étudiants appartenant à l'ancienne version du TP1 (12,5 %), suivent une démarche correcte, du point de vue du savoir savant, pour la résolution du problème qui est largement dépassée dans la nouvelle version (42,5%).

Copie 11 (TP01) : à l'équivalence $pH=7$, $n_a = n_b$ donc on a $CaVa = CbVbE$ donc

$Cb = CaVa / VbE$

Copie 21 (TP1): au point d'équivalence on a nombre de moles de H_3O^+ = nombre de moles de OH^- $n(H_3O^+) = CAVA$ et $n(OH^-) = CBVB$ donc $CAVA = CBVB$ et $CA = CBVB / VA$

Toutefois, nous constatons d'après le tableau ci-dessus, 10 types de liens différents mobilisés par les étudiants appartenant à la nouvelle version, alors que pour l'ancienne version 4 types de liens sont mis en œuvre par les étudiants; ceci est dû à la manière dont nous avons posé la question, qui est différente de l'ancienne version.

Nous constatons que la réponse des 40 binômes appartenant à la nouvelle version ne se limite pas à faire des calculs, ils utilisent différentes manières pour la résolution du problème, qui est validé par le nombre de liens utilisés dans leurs réponses.

III.2.2. Résultats concernant les productions verbales

Etant donné que nous avons pris en considération, dans l'analyse des productions écrites, les deux questions figurant dans le texte de la nouvelle version du TP1, nous allons procéder de la même manière dans la production verbale.

Le tableau ci-dessous (Tab.37), montre les niveaux de connaissances mobilisés par le binôme pour répondre aux deux questions.

| Sans relation | | | | | Relation interne | |
|------------------|--------|------------|---------|------------|------------------|--|
| [M.num] | [é] | [G] | [M.géo] | [o] | [é, o] | |
| 9 | 1 | 12 | 1 | 1 | 2 | |
| Relation externe | | | | | | |
| [é, M.num] | [G, é] | [G, M.num] | [G, o] | [é, M.géo] | [M.géo, G] | |
| 1 | 3 | 4 | 4 | 1 | 1 | |

Légende

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[G] : grandeur

[M.géo] : modèle géométrique

[M.num] : modèle numérique

Tableau 37 : Niveaux de connaissances et types de liens mis en oeuvre dans la transcription

Ce tableau montre que tous les niveaux de connaissances utilisés, ne sont pas mis en oeuvre d'une manière significative dans la transcription. Les niveaux les plus fréquemment utilisés sont le niveau grandeur et le niveau du modèle numérique. Ces niveaux correspondent strictement à la consigne de la tâche et contribuent fortement à la résolution du problème.

Le niveau de l'événement reconstruit se réfère au point d'équivalence, il est dans la plus part des cas présents dans le raisonnement de l'apprenant. Il s'agit peut être, d'une conséquence de l'enseignement des dosages acido-basiques au niveau de la 7^{ème} année de l'enseignement secondaire (niveau terminal).

Dans le manuel scolaire (édition 1998)⁹, au niveau du chapitre : "Etude expérimentale du dosage d'un acide fort par une base forte", l'enseignement est focalisé essentiellement sur le point d'équivalence de la manière suivante :

- Détermination du point d'équivalence à partir de la courbe $\text{pH} = f(V_b)$: "nous constatons ainsi que la courbe $\text{pH} = f(V_b)$ présente un point d'inflexion E qui se trouve pratiquement au milieu du saut de pH et qui correspond au point d'équivalence" (p.135).
- Définition du point d'équivalence : " pour ce dosage, le point d'équivalence E est atteint quand la quantité de matière du monoacide initial est égale à la quantité de matière de monobase ajoutée (...) d'où la relation $CAVA = CBVB$ valable au point d'équivalence" (p.135).
- Détermination du pH au point d'équivalence : "nous concluons donc qu'à l'équivalence le mélange de la solution d'acide chlorhydrique (acide fort) avec la soude (base forte) a un pH égal à 7" (p.136).

Cette partie extraite du manuel scolaire insiste sur l'étude du point d'équivalence, ce qui explique les différents types de liens utilisés avec l'événement reconstruit dans leur

⁹ Manuel scolaire de l'enseignement secondaire tunisien : BOUJLEL K., DACHRAOUI M., DEBBABI M. & MANDHOUI S. (1998). *Chimie*. 7ème Section Mathématiques, Sciences Expérimentales et Techniques. Edition C.N.P.Tunis.

réponse : [é,M.num] ; [G,é] ; [é,M.géo] et [é , o].

Nous remarquons aussi, que le binôme utilise dans sa démarche, deux fois le lien entre l'événement et l'objet reconstruit. L'événement reconstruit fait référence à l'équation chimique :

Nader-294 : On revient à l'équation peut être une faute (::) l'équation plus HCl donne H+ plus

Nader-298 : H2O plus NaOH/ (... ?) oui oui oui oui ça va ça va sur volume total volume (::) de HCl par mL avec volume (::)

Ce type de lien montre, une évolution dans la démarche suivit par le binôme. Ce dernier commence à utiliser le lien entre l'événement et l'objet reconstruit dans ses réflexions.

Le tableau suivant (Tab.38), illustre la comparaison entre l'analyse *a priori* et celle de l'activité du binôme.

| Analyse <i>a priori</i> | | | Activité du binôme | | | |
|-------------------------|---------|-------------|--------------------|-------------|-------------|---------|
| [é , G] | [G , o] | [G , M.num] | [é , M.num] | [G , é] | [G , M.num] | [G , o] |
| M.num | | | [é ; M.géo] | [M.géo ; G] | M.num | |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[G] : grandeur

[M.géo] : modèle géométrique

[M.num] : modèle numérique

Tableau 38 : Comparaison entre l'analyse *a priori* et l'activité du binôme

Nous remarquons, d'après le tableau 18, un écart entre ce qui est prévu et ce qui a eu lieu effectivement, car nous considérons dans l'analyse *a priori* une procédure de réponse que les étudiants pourront mobiliser, ainsi que les niveaux de savoirs que les étudiants doivent mettre en relation au minimum pour fournir une réponse acceptable du point de vue du savoir savant.

Dans nos analyses *a priori*, le niveau de l'événement reconstruit (l'équivalence) doit être présent, qui est utilisé chez le binôme suivant le terme du point d'équivalence.

Bien qu'il ait eu une différence entre les liens utilisés dans l'analyse *a priori* et ceux mobilisés par le binôme, pour pouvoir répondre à la question, ce dernier parvienne à trouver une réponse juste par le biais d'une démarche différente.

Cependant, suivant les résultats du tableau (Tab. 38), nous remarquons que seulement les liens diffèrent, par contre les niveaux utilisés dans les deux types d'analyses sont les mêmes, mis à part le modèle géométrique qui est principalement présent dans chaque activité.

III.2.3. Conclusion

Cette deuxième question, traitée de manière différente dans les deux versions du TP1, montre que l'activité de modélisation des étudiants n'est pas le même dans les deux cas.

Le tableau 16 montre, que les binômes appartenant à l'ancienne version, mobilisent 4 types de liens dans la résolution du problème, par contre les binômes appartenant à la nouvelle version mobilisent plus que la moitié de types de relations établies dans l'ancienne version. Cela est dû, dans la nouvelle version, au fait que nous avons adopté une démarche de réflexion plutôt qu'à des calculs (2,5 % d'étudiants font uniquement des calculs dans le TP1 alors que dans le TP01, 40% utilisent seulement le modèle numérique).

Nous constatons aussi, que les étudiants établissent plus de relations que nous n'en avons prévus *a priori*, car nous pensons que les difficultés des étudiants ou leur besoin de compréhension devraient les amener à dépasser ce minimum prévu.

Etant donné ce dépassement, nous pouvons dire qu'il y a eu dévolution puisque le type de liens prévu, dans l'analyse *a priori*, est mobilisé par le binôme enregistré.

III.3. Résultats de la 3^{ème} question

Cette question est posée différemment dans les deux versions du 1^{er} TP. Dans l'ancienne version, elle est posée de la façon suivante :

Le choix de l'indicateur est-il satisfaisant ?

Par contre, dans la nouvelle version, cette question est présentée de la manière suivante :

Justifier la validité des indicateurs colorés dans chaque cas.

III.3.1. Ancienne version (TP01) et nouvelle version (TP1)

Les réponses des 40 binômes appartenant aux deux versions du 1^{er} TP sont regroupées dans le tableau ci-dessous (Tab.39). Ce dernier, illustre les différents types de liens utilisés par les binômes dans leur réponse à cette question.

Tableau 39 : Répartition des réponses écrites de l'ancienne version et de la nouvelle version du TP1 selon les niveaux de connaissances

Apprentissage des réactions acido-basiques : Mise en évidence et remédiation des difficultés des étudiants lors d'une séquence d'enseignement expérimental

| Types de liens entre les niveaux de savoirs | Nombre de copies TP01 | Nombre de copies TP1 |
|---|-----------------------|----------------------|
| [p ; O] [p ; é] | 2 (5%) | 0 (0%) |
| [O ; G] | 2 (5 %) | 0 (0%) |
| [O ; p] [p ; G] [G ; é] | 5 (12,5%) | 0 (0%) |
| [O ; G] [G ; o] | 4 (10%) | 0 (0%) |
| [O ; E] | 1 (2,5%) | 0 (0%) |
| [O ; E] [E ; é] [G ; p] [p ; o] | 2 (5%) | 0 (0%) |
| [O ; p] | 1 (2,5%) | 4 (10%) |
| [O ; E] [E ; é] | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [E ; O] [O ; é] [p ; G] | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [O ; p] [p ; o] | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [O ; G] [G ; é] | 0 (0 %) | 1 (2,5%) |
| [p ; G] [G ; é] | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [O ; P] [P ; P] [O ; p] [p ; G] | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [E ; G] | 0 (0%) | 3 (7,5%) |
| [E ; O] [E ; é] [O ; P] [P ; p] | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [O ; E] [E ; p] | 0 (0%) | 2 (5%) |
| [P ; p] | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [p ; O] [O ; G] [G ; P] | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [O ; p] [O ; é] | 0 (0%) | 3 (7,5%) |
| [O ; O] [O ; p] [p ; E] [é ; o] | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| Pas de réponse | 23 (57,5%) | 18 (45%) |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

[O] : objet perceptible

[P] : propriété perceptible

[E] : événement perceptible

Nous constatons, d'après le tableau ci-dessus, que les types de relations établies par la totalité des binômes sont quasiment différentes, mis à part le lien entre l'objet perceptible (indicateur coloré) et la propriété reconstruite (zone de virage). Il est de 2,5% dans l'ancienne version alors que dans la nouvelle version, il est de 10%.

Copie 18 (TP01) : Le choix de l'indicateur est satisfaisant car le □□ à pour zone de virage entre (8,2-10)

Copie 37 (TP1): Les indicateurs colorés permettent d'indiquer la zone de virage

Cependant, les connaissances mises en œuvre par la plupart des binômes sont les mêmes dans les deux versions du TP.

Toutefois, nous remarquons que le nombre de mises en relation est beaucoup plus important dans la nouvelle version que dans l'ancienne : il est de 14 dans la nouvelle version et de 7 dans l'ancienne version, ceci est dû, à la manière dont la question est posée. Dans la nouvelle version du TP1, nous avons posé une question préliminaire qui peut mettre l'étudiant dans une situation de réflexion sur le système chimique pendant la manipulation, le permettant avec les interprétations demandées, d'aborder la question qui suit.

La question préliminaire (dans la nouvelle version) est la suivante :

Interpréter le changement de couleur de la solution dans chaque cas (en se servant du tableau ci-dessous)

Nous avons demandé de porter dans un tableau, pour chaque ajout de soude, la valeur du pH et la couleur de la solution. Ces éléments là vont leur permettre de réfléchir sur la validité des indicateurs colorés avec beaucoup plus d'aisance que dans l'ancienne version.

Cependant, dans l'ancienne version, la question qui précède était la suivante :

Calculer les concentrations molaire et massique

Nous constatons qu'il n'y a aucun lien direct entre cette question et celle sur le choix de l'indicateur coloré, ce qui prouve le nombre minimum de type de lien dans l'ancienne version.

La question adressée aux étudiants, dans la nouvelle version, est donc relativement ouverte, ce qui les pousse à saisir cette opportunité pour mettre en œuvre les différentes mises en relations de chaque niveau de connaissances.

Tenant compte des résultats du tableau ci-dessus, nous constatons la présence du niveau de l'événement reconstruit, faisant référence au point d'équivalence, dans la majorité des réponses des étudiants, que se soit dans l'ancienne ou dans la nouvelle version. Nous pouvons faire l'hypothèse que les étudiants montrent une certaine préférence à l'utilisation des connaissances issues du modèle géométrique (courbe du dosage), étant donné que le point d'équivalence est catégorisé selon un événement reconstruit relevant d'un registre graphique, afin de donner une légitimation à leur production écrite.

III.3.2. Résultats concernant les productions verbales

Cette question n'a pas été traitée par le binôme puisqu'elle nécessiterait un raisonnement très approfondi de sa part.

Nous nous retrouvons dans une situation où le binôme est en difficulté, ce qui nous amène à dire qu'il n'y a pas eu de dévolution pour cette question.

III.3.3. Conclusion

Compte tenu des résultats des productions écrites et des productions verbales, nous n'analyserons pas cette question aussi finement que les précédentes. Nous constaterons uniquement que lors de la tentative de résolution, les étudiants font beaucoup plus de

mises en relations dans la nouvelle version que dans l'ancienne version.

Dans ce qui suit, nous allons traiter les questions qui ne figurent pas dans l'ancienne version du TP1, mais qui sont intéressantes pour notre recherche.

Ces questions, au nombre de deux, appartiennent à la deuxième activité du 1^{er} TP, qui présente un dosage d'une solution d'acide faible (acide acétique CH_3COOH) par une solution de soude. L'objectif d'apprentissage de cette activité, est de distinguer la différence entre un acide fort et un acide faible.

III.3. Résultats de la 4^{ème} question

Cette question porte sur la différence entre les deux acides fort et faible lors d'un dosage.

Comparer ces deux courbes en indiquant les différences entre elles, en particulier au début du dosage, puis autour du point d'équivalence.

III.3.1. Nouvelle version (TP1)

Pour cette question, la majorité des binômes mobilisent plusieurs types de liens mais les niveaux de connaissances sont les mêmes à utiliser.

Dans notre analyse des 40 copies, nous avons dégagé 37 (nous avons recensé 3 non-réponses) mises en relations différentes, c'est-à-dire que les niveaux de connaissances sont les mêmes utilisés dans la majorité des copies et parfois la mise en relation diffère. Nous prenons comme exemple les deux copies suivantes, nous présentons la réponse écrite à cette question de ces deux binômes puis entre parenthèses nous donnons le type de liens existant dans cette production.

Copie 15 : Le saut de pH de la courbe de titrage d'une solution d'acide fort (HCl) par base fort (NaOH) est plus important que celle de courbe de titrage d'une acide faible par base fort. La courbe de titrage d'une solution d'acide faible par une base fort possède 2 points d'inflexions l'une le point T(13,1 ;4,5) le point de demi équivalence et l'autre E(26,3 ;8,4) le point d'équivalence mais l'autre courbe possède un seul point d'inflexion qui est le point d'équivalence B(20 ;6,9). On remarque aussi que le pH à l'équivalence n'est pas le même dans les deux courbes dans la courbe de titrage d'une acide faible par base fort pH=8,4 milieu basique mais l'autre pH=6,9 milieu neutre.

([E ; M.géo] [M.géo ; o] [o;p] [M.géo ; M.géo] [M.géo ; é] [G;é] [M.géo ;G] [G;p])

Copie 8 : Ces deux courbes C1 et C2 ont presque la même allure sauf que il y a quelques différences qui se caractérisent par un petit saut de pH au début du dosage de l'acide acétique qui n'a pas été marqué dans le cas du dosage de l'acide chlorhydrique dont le pH a été presque constant au début du dosage. De même à l'équivalence, on remarque aussi que la courbe du dosage de l'acide acétique a subit un saut de pH moins marqué que dans le cas du dosage de l'acide chlorhydrique

([M.géo ; M.géo] [M.géo ;E] [E ; o] [G;E] [é ; M.géo])

Dans le tableau suivant, nous présentons la fréquence de liens mis en jeu dans les 37 copies et non pas l'ensemble de liens existants dans chaque copie.

Tableau 40: Répartition de la fréquence des types de liens dans les copies

| Types de liens entre les niveaux de savoirs | Fréquence d'apparition dans les copies |
|---|--|
| [M.géo ; G] | 24 |
| [M.géo; M.géo] | 23 |
| [M.géo ; E] | 21 |
| [M.géo ; é] | 20 |
| [E; o] | 15 |
| [M.géo ; o] | 14 |
| [é ; G] | 12 |
| [G ; p] | 8 |
| [o ; p] | 7 |
| [G ; o] | 6 |
| [E ; G] | 3 |
| [é ; M.num] | 2 |
| [E ; é] | 2 |
| [o ; é] | 2 |
| [E ; E] | 1 |
| [O ; E] | 1 |
| Pas de réponse | 3 |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

[O] : objet perceptible

[E] : événement perceptible

[M.géo] : modèle géométrique

[M.num] : modèle numérique

Ce tableau montre que le modèle géométrique est très fréquent dans la réponse des étudiants.

Dans la plupart des réponses, nous constatons que les étudiants mobilisent, fréquemment :

- Le lien entre le modèle géométrique (courbe du dosage) et les grandeurs (pH, volume ou concentration).

Copie 4 : Dans la 1ère courbe on constate que la valeur de pH reste constante jusqu'à atteint de valeur $V_B=20\text{mL}$ pour s'élever et on remarque une chute important jusqu'à atteint une valeur égale à 11 pour une milieux soit basique mais à l'autre courbe on

constate que l'acide acétique $C = 0,01M$ est plus rapide elle varie rapidement

- le lien entre le modèle géométrique (courbe du dosage) et le modèle géométrique (description de la courbe),

Copie 13 : L'allure des courbes de dosage fort-fort tel que HCl, NaOH et dosage de l'acide faible par la base forte (CH_3COOH , NaOH) présente quelque différences, en effet : La 1ère courbe du dosage (HCl, NaOH) comporte trois parties et un point d'inflexion : la 1ère partie (NA) est caractérisé par une variation légère de pH, la 2ème partie (AB) présente une variation brusque et remarquable du pH et la 3ème partie prouve que le pH est revenu à son premier état. La 2ème courbe est composé de 4 parties et 2 points d'inflexions, la 1ère partie (RS) présente une variation brusque notable de pH, la 2ème partie (SE) caractérise la variation légère de pH, tandis que la 3ème partie prouve une variation brusque de pH, en définitive la 4ème partie présente à un retour à une variation légère de pH.

- le lien entre le modèle géométrique (courbe du dosage) et l'événement perceptible (saut de pH),

Copie 18 : Dans la première courbe, on remarque que la valeur de pH reste presque inchangé elle varie peu puis brusquement on obtient un saut de pH lorsqu'on atteint un volume $V_{BEajouté}=20mL$, mais dans l'autre courbe qui correspond à $C=0,01$ on remarque que le pH varie au début petit à petit et il atteint le point d'équivalence plus rapidement que la courbe 1

- le lien entre le modèle géométrique (courbe du dosage) et l'événement reconstruit (point d'équivalence ou l'équivalence).

Copie 34 : On remarque que cette courbe admet 2 points d'équivalences $E'1$ et $E'2$ pourtant que la courbe 1 admet un seul point d'équivalence

Ces prises en compte de ses différents types de liens avec la courbe du dosage, montre le refuge des étudiants dans leur relation au modèle géométrique. Dans aucun cas de comparaison des courbes, l'étudiant fait référence à la réaction acido-basique, par contre le point d'équivalence est présent dans la moitié des réponses.

III.3.2. Résultats concernant les productions verbales

Cette question va mobiliser plusieurs types de relations en rapport avec le modèle géométrique, puisqu'il s'agit d'une comparaison entre les deux courbes de dosage.

Nous présentons sous la forme d'un tableau les résultats concernant les niveaux de connaissances mis en œuvre par le binôme.

| Sans relation | | | Relation interne | | | |
|------------------|-------------|-------------|------------------|---------|---------|---------|
| [M.géo] | [G] | [é] | [é ; o] | | | |
| 9 | 4 | 3 | 2 | | | |
| Relation externe | | | | | | |
| [M.géo ; é] | [M.géo ; G] | [M.géo ; E] | [é ; G] | [G ; E] | [é ; E] | [G ; o] |
| 1 | 5 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[G] : grandeur

[E] : événement perceptible

[M.géo] : modèle géométrique

Tableau 41: Niveaux de connaissances et types de liens mis en oeuvre dans la transcription

Ce tableau montre que les niveaux sans relations, les plus fréquemment exprimés par le binôme, sont ceux du modèle géométrique et des grandeurs, ce qui explique le nombre de lien entre eux.

La comparaison des deux courbes se fait systématiquement par le biais d'une description géométrique, ce qui explique le grand nombre d'utilisations du modèle géométrique.

Nader-314 : Que les deux courbes iktéb (écrit) on remarque que les deux courbes / ont le même sens croissante

Taoufik-317 : De croissance uhuum et que les deux courbes possèdent une seule point de (:) d'inflexion / les deux courbes

Nader-326 : Ils sont aussi possèdent trois parties / ou bien deux allures deux allures

Par contre, le niveau des grandeurs est mis en évidence, dans la majorité des cas avec le modèle géométrique lorsque le binôme va déterminer les coordonnées du point d'équivalence.

Nader-364 : pH (::)2 khoudh (prend) prend le point deuxième point E2

Taoufik-383 : pH E2 de la 2ème courbe

Toutefois, nous remarquons d'après le tableau 41, la présence de deux liens de type événement reconstruit et événement perceptible. Il s'agit d'un lien entre la réaction et le dosage.

Nader-396 : Que la que les deux réactions du dosage ont la même valeur

Taoufik-397 : Pour les deux réactions ?

Nader-398 : De dosage ont la même valeur ajoutée de NaOH au point d'équivalence

Taoufik-399 : Que les deux réactions du dosage

Nader-400 : Ont presque / la même valeur / d'équivalence au point d'équivalence

D'après ce passage, en disant que les réactions ont même valeur, étant donné que la

réaction chimique n'a pas de valeur, nous supposons que ce binôme confond entre le volume à l'équivalence et la réaction du dosage, alors que dans la première activité, il confondait la réaction et la solution. Pour dépasser cette confusion, dans l'enseignement de la chimie, il faut que les concepts tels que la réaction chimique, la courbe du dosage, le volume à l'équivalence, etc.... soient suffisamment et clairement distingués pour que les étudiants arrivent à construire des connaissances.

Cette deuxième activité contient deux dosages de l'acide acétique de concentration différente (0,1M et 0,01M), puis nous avons demandé de tracer les courbes sur un même graphe et de superposer la courbe de dosage de l'acide chlorhydrique de même concentration sur le même schéma. La question demandée était de comparer les deux courbes celle de l'acide chlorhydrique et de l'acide acétique de même concentration.

Nader-392 : Donc pH ça va car la concentration du (:) 2ème dosage dosage euh est faible par rapport à la concentration du première dosage

Nous présentons dans le tableau qui suit, une comparaison de l'activité du binôme avec l'analyse *a priori*.

| Analyse <i>a priori</i> | | | | Activité du binôme | | | |
|------------------------------|-------------|---------|---------|--------------------|-------------|-------------|---------|
| [E ; M.géo] | [M.géo ; o] | [G ; o] | [é ; G] | [M.géo ; é] | [M.géo ; G] | [M.géo ; E] | [é ; o] |
| [é ; M.géo] | [é ; o] | [é ; p] | [é ; E] | [é ; G] | [G ; E] | [é ; E] | [G ; o] |
| Légende : | | | | | | | |
| [é] : événement reconstruit | | | | | | | |
| [o] : objet reconstruit | | | | | | | |
| [p] : propriété reconstruite | | | | | | | |
| [G] : grandeur | | | | | | | |
| [E] : événement perceptible | | | | | | | |
| [M.géo] : modèle géométrique | | | | | | | |
| [M.num] : modèle numérique | | | | | | | |

Tableau 42 : Comparaison entre l'analyse a priori et l'activité du binôme

Nous constatons, d'après le tableau 42, que seuls les relations entre les niveaux [M.géo;o] et [é ; p] , pris en compte dans l'analyse *a priori* ne sont pas présent dans l'activité du binôme, ce qui engendre une réponse incomplète.

Cependant, lors de la comparaison d'une courbe de dosage d'un acide faible à celle d'un acide fort, quatre niveaux de connaissances (grandeurs, événement reconstruit, objets perceptibles et l'événement perceptible) doivent être nécessairement présents pour que la réponse soit acceptable. (chapitre analyse *a priori*)

III.3.3. Conclusion

En comparant l'activité du binôme enregistré à celle des activités des autres binômes, nous constatons que les même mises en relations sont existantes dans les deux cas. De même, le modèle géométrique est mobilisé sans relation 9 fois pour le binôme enregistré et 23 fois d'apparition dans les productions écrites.

Ainsi, cette question conduit les étudiants à utiliser fréquemment le modèle géométrique dans la résolution de la tâche. Ils se basent dans leur raisonnement sur un

procédé géométrique au lieu d'un raisonnement basé sur le concept de réaction acido-basique. Ces procédés géométriques ont une certaine cohérence dans l'esprit des étudiants, ça leur suffit pour interpréter les faits observés et pour résoudre à leur manière la question posée.

Lors de la comparaison des courbes, nous avons constaté la présence de liens entre la courbe et le monde perceptible, cette comparaison est tout à fait géométrique. C'est un point de plus qui montre l'absence de relation avec le monde reconstruit

III.4. Résultats de la 5^{ème} question

Cette question porte sur le lien existant entre la courbe du dosage et la concentration de l'acide acétique si elle est inconnue.

La courbe obtenue permet-elle de déterminer la concentration de l'acide acétique si elle est inconnue ? Justifier la réponse.

III.4.1. Nouvelle version (TP1)

Nous présentons dans le tableau qui suit, le détail des niveaux de connaissances mis en jeu par les binômes concernant cette activité.

Tableau 43 : Répartition de la fréquence des types de liens dans les copies

| Types de liens entre les niveaux de savoirs | Fréquence d'apparition dans les copies |
|---|--|
| [é ; G] | 19 |
| [G; o] | 18 |
| [M.num ; M.num] | 16 |
| [é ; M.num] | 9 |
| [o; p] | 5 |
| [G ; M.num] | 3 |
| [o ; é] | 1 |
| [G ; o] | 1 |
| [p ; G] | 1 |
| [G ; E] | 1 |
| Pas de réponse | 8 |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

[E] : événement perceptible

[M.num] : modèle numérique

Nous constatons, d'après le tableau ci-dessus, que la plupart des étudiants utilisent souvent les trois types de liens : [é ; G] ; [G ; o] et [M.num ; M.num]

Copie 1: La concentration CA (CH₃COOH) expérimentalement on a au point d'équivalence nOH⁻ = nH⁺ on a CAVA=CBVBéq CA=CBVBéq/VA

Copie 7: La courbe de dosage de l'acide acétique par la soude nous permet de déterminer la concentration inconnue de l'acide. En utilisant la relation de l'équivalence na=nb donc CaVa=CbVbE Ca=CbVbE/VA

Par contre, un seul binôme fait référence à la réaction acido-basique dans sa réponse à la question :

Copie 19: A l'équivalence on aura la réaction : CH₃COOH + OH⁻ → CH₃COO⁻ + H₂O (car K=Ka/Ke □□) donc on peut déterminer la concentration de CH₃COOH :

$$n \text{ acide} = n \text{ base ajouté } CaVa = CbVb \text{ Ca} = CbVb/VA$$

De manière générale, cette activité conduit la plupart des étudiants à prendre en compte les 3 niveaux de connaissances cités ci-dessus. Elle ne laisse que très peu de liberté concernant le choix des niveaux à mettre en œuvre. Ceci peut être lié à la connaissance déjà acquise par les étudiants concernant la résolution d'une tâche impliquant la courbe du dosage et la concentration de la substance à doser.

III.4.2. Résultats concernant les productions verbales

Dans cette question, 17 interventions sont produites par le binôme. La justification de la réponse n'a pas été donnée par le binôme. Comme souvent, les étudiants ne savent pas justifier leur réponse.

Les activités du binôme en termes de niveaux de savoirs sont rapportées dans le tableau 44.

| [E] | Sans relation | | Relation externe | | |
|-----|---------------|---------|------------------|-------------|---------|
| | [o] | [M.num] | [M.num ; é] | [M.géo ; é] | [G ; o] |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Légende :

[e] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[G] : grandeur

[M.géo] : modèle géométrique

[M.num] : modèle numérique

Tableau 44 : Niveaux de connaissances et types de liens mis en oeuvre dans la transcription

D'après ce tableau, nous remarquons que le modèle géométrique présent dans la transcription, est en lien avec l'événement reconstruit. Comme si toute réflexion émise par ce binôme possédait comme fondement la courbe du dosage !

Toutefois, comme nous l'avons signalé dans la 1^{ère} activité, le raisonnement de l'apprenant se focalise sur le point d'équivalence.

Taoufik-419 : La déterminer / à partir de la relation au point d'équivalence haka wala

lè (c'est ça ou pas)

Nader-420 : Oui d'après la courbe au point d'équivalence

Nader-422 : la courbe au point d'équivalence

Il apparaît ainsi que le point d'équivalence considéré comme un événement reconstruit puisque c'est un point de l'évolution du système, est une notion nécessaire pour la construction des connaissances chez l'apprenant, il est utilisé comme intermédiaire facilitant le traitement des données expérimentales.

Nous présentons dans le tableau suivant, les différences constatées entre les procédures de résolution de la tâche de l'analyse *a priori* et celle de l'activité du binôme.

| Analyse <i>a priori</i> | | | | Activité du binôme | | |
|-------------------------|---------|-------------|---------|--------------------|-------------|---------|
| [É ; G] | [G ; p] | [p ; o] | [o ; É] | [M.num ; É] | [M.géo ; É] | [G ; o] |
| | [G ; o] | [G ; M.num] | | | | |

Légende

[É] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

[M.géo] : modèle géométrique

[M.num] : modèle numérique

Tableau 45 : Comparaison entre l'analyse *a priori* et l'activité du binôme

La non prise en compte de la deuxième partie de la question, montre la différence entre les liens existants dans ce qui est prévue *a priori* et ce qui est produit par le binôme.

D'après ce tableau 45, le lien entre [G ; o] est présent dans les deux analyses puisque la tâche se réfère à ces deux niveaux de savoirs. Cela est confirmé par ROBINAULT (1997), lorsque la tâche évoque un certain niveau de connaissance, nous les retrouverons dans la réponse des élèves :

« Lorsque la question adressée aux élèves relève du seul modèle physique, les élèves ne mettent en œuvre que ce niveau » (robinault, 1997, p.217)

Lors de la comparaison entre les niveaux mis en œuvre et les relations réalisées et ceux qui sont attendues (Tab.45), nous constatons qu'il y a des niveaux mis en œuvre et des relations réalisées qui ne sont pas prévus par l'analyse *a priori*, cela montre, selon CROZIER & FRIEDBERG (1977), que les élèves utilisent durant la réalisation des tâches, diverses ressources nécessaires pour s'approprier le savoir mis en jeu.

III.4.3. Conclusion

Cette activité nous permet de dégager les constatations suivantes :

- Le nombre de types de liens entre les différents niveaux de connaissances s'accroît, puisque nous nous attendons à ce que l'étudiant fasse uniquement le lien entre l'événement reconstruit et le modèle numérique (voir chapitre analyse *a priori*).
- Les étudiants n'utilisent pas le concept de réaction acido-basique dans leur réflexion.

- Lors de la comparaison de la réalisation de la tâche par le binôme enregistré avec celle attendue, les connaissances mises en œuvre par ce binôme ne sont pas appropriées du point de vue du savoir en jeu. Il s'agit d'une démarche non attendue qui montre l'absence de dévolution.

IV. Conclusion

Nous avons constaté, lors de la comparaison entre l'ancienne version et la nouvelle version du TP1, que la proportion de relations entre les différents niveaux de connaissances devenait de plus en plus importante dans la nouvelle version. Ce résultat provient en partie de la manière dont la question a été posée.

Nous avons également mis en valeur le rôle primordial des questions posées aux étudiants relatives aux deux versions du TP1, qui montre l'originalité de la nouvelle version qui a un rôle expérimental et de réflexion.

Toutefois, nous avons constaté que l'apprentissage n'est pas le même dans les deux versions puisque les séquences d'enseignement sont différentes et l'enjeu du savoir est de même différent : dans l'ancienne version du TP1, ce qui est demandé aux étudiants repose généralement sur un procédé mathématique ou bien un résultat découlant directement du cours, alors que pour la nouvelle version nous avons procédé à une réflexion sur le système chimique et essentiellement sur la réaction chimique.

A partir de la comparaison des deux versions, nous avons constaté que l'ancienne version du TP1 ne pose les vrais problèmes qui font difficultés aux étudiants, par contre la nouvelle pose les problèmes et montre les difficultés rencontrées par les étudiants vis-à-vis des dosages acide fort / base forte et acide faible / base forte.

Ces difficultés proviennent du fait que, les étudiants se réfugient dans la courbe qu'ils ont construit et ne mettent en aucun moment en jeu la réaction du dosage et les entités chimiques qui interviennent, ce qui prouve l'utilisation fréquente des niveaux modèle géométrique et grandeurs dans leur raisonnement.

Cependant, les difficultés que les étudiants rencontrent dans les titrages sont dues au fait qu'ils ont mal compris le concept de réaction acido-basique, puisque ce dernier est rarement mis en évidence dans leurs raisonnements. ça reste des observations appartenant au monde perceptible d'une part et le modèle géométrique d'autre part, ce monde géométrique est fréquemment relié au monde reconstruit, plus précisément aux objets et aux événements.

L'analyse des différentes questions montre que le modèle géométrique est trop utilisé dans le raisonnement de l'élève. Les étudiants ne décrivent pas le système chimique pour donner du sens à l'événement de la réaction acido-basique.

Nous avons aussi constaté que le point d'équivalence est tout le temps présent dans l'activité cognitive de l'apprenant. Pour ce dernier, le point d'équivalence représente un point de l'évolution du système réactionnel qui détermine l'état de l'équivalence ou le moment de l'équivalence et non pas un point appartenant à la courbe.

Chapitre 2. Comparaison entre dosage pH-métrique et dosage conductimétrique

Nous avons montré au cours des analyses effectuées dans le chapitre précédent que, les étudiants se réfugient dans leur raisonnement à la courbe du dosage qu'ils ont construit. Nous avons également montré que le dosage pH-métrique d'un acide fort / base forte pose un problème pour les étudiants et montre les difficultés de ces derniers face à ce dosage.

Dans ce chapitre, nous recherchons de voir si nous remplaçons le dosage pH-métrique d'un acide fort / base forte par un dosage conductimétrique, quel sera l'apport de ce dosage sur l'apprentissage du concept de réaction acido-basique ?

En premier lieu, nous allons comparer les résultats des productions verbales relatifs aux deux dosages et par la suite les productions écrites.

I. Description du TP « Notion du dosage »

Ce TP a été élaboré au sein du projet OUTIL¹⁰ pour la classe de Première S. Il s'agit d'un TP d'introduction au dosage conductimétrique d'un acide fort par une base forte; il comporte trois parties :

- La première consiste en une étude préliminaire permettant d'attirer l'attention des élèves sur les ions présents dans le système chimique constituant un dosage ainsi que sur la relation entre les concentrations de ces ions et la conductance qui sera mesurée.
- La deuxième comprend une étude expérimentale et quelques questions relatives à leur expérimentation.
- La dernière partie permet aux élèves de confronter leurs résultats à une simulation, en utilisant un logiciel spécifique présent dans le cédérom de leur manuel scolaire¹¹ et d'en déduire une reformulation de la définition d'équivalence abordée dans la première partie de ce TP.

Lors de la construction de ce TP, les connaissances mises en jeu sont définies au préalable:

- Réaction chimique, réactif limitant, réactif en excès.

¹⁰ **Solution électrolytique**
Le projet OUTIL a réuni entre 1999 et 2001 des chercheurs en didactique, des professeurs de lycée et des inspecteurs d'Académie pour proposer aux professeurs des outils pour construire et d'analyser des activités expérimentales opératoires en Physique et en chimie au lycée, ainsi que pour améliorer leur mise en œuvre.

¹¹ Hatier, collection Microméga, 2001.

- Conductimétrie, mesure de conductance et calcul de la conductivité d'une solution.
- Réactions acido-basiques.

Le but de ce TP est d'introduire les titrages en utilisant comme support la réaction entre l'acide chlorhydrique et une solution d'hydroxyde de sodium suivie par conductimétrie.

La partie qui intéresse notre recherche est celle qui correspond à la simulation du titrage (*simuler un titrage conductimétrique consiste à visualiser sur l'écran de l'ordinateur l'évolution de la conductivité en fonction du volume qui serait versé si l'expérience était réalisée*) et plus précisément la question portant sur la courbe du dosage : " Placer la lettre A sur ce graphe pour indiquer le moment où la réaction de titrage commence, et la lettre B pour montrer où elle finit ".

Les élèves doivent retrouver le graphe (Fig.27) donné dans le texte de TP à l'aide du simulateur, en plus ils doivent indiquer les points A et B sur ce graphe:

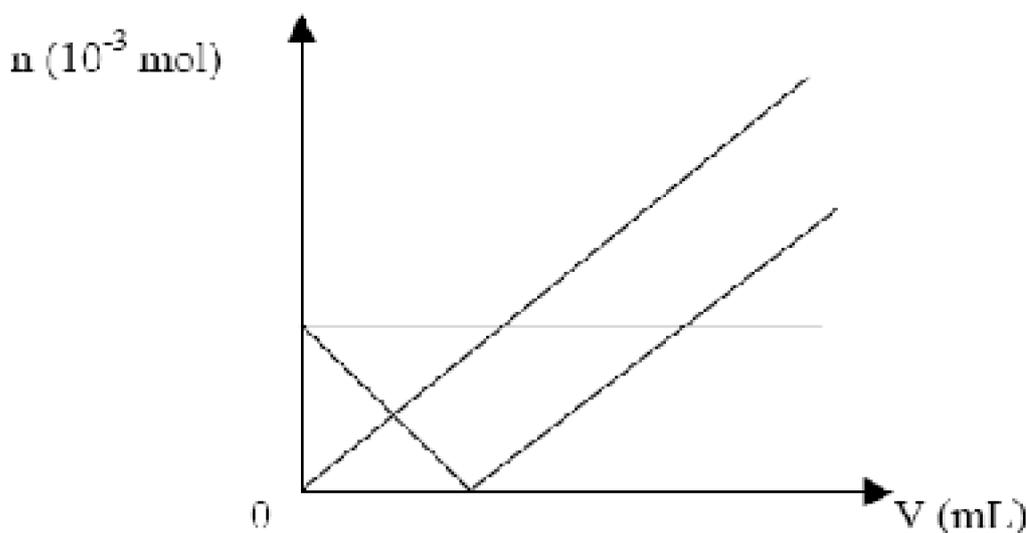


Figure 27

Ce TP a été utilisé par DUPONT (2002) et porte sur l'utilisation de l'interaction gestuelle entre deux élèves pour approfondir la compréhension de la co-construction de connaissances dans le cas de l'apprentissage d'un titrage conductimétrique en TP (classe de 1S).

L'objectif de son travail de recherche est différent du notre, nous avons utilisé son corpus pour faire une comparaison entre la courbe du dosage pH-métrique et celle du dosage conductimétrique

II. Comparaison des productions verbales

Dans cette partie, nous nous intéressons à la comparaison des résultats sur la courbe du

dosage pH-métrique à la courbe du dosage par conductimétrie, d'une solution d'acide chlorhydrique par une solution de soude.

II.1. Résultats concernant le dosage pH-métrique

Ce dosage pH-métrique fait partie de la nouvelle version du TP1 pour des étudiants de 1er cycle universitaire. Les deux questions qui font l'objet de ce chapitre, n'existaient pas dans l'ancienne version TP01.

II.1.1. Résultats de la 1ère question

La question adressée aux étudiants était la suivante :

Indiquer la partie de la courbe correspondante à la réaction du dosage. On indiquera sur la courbe le point A du début de cette réaction et le point B de la fin de cette réaction..

Dans les 27 interventions enregistrées pour cette question, nous ne constatons pas de réponse correcte à cette question. Cette dernière est très mal comprise par l'étudiant, puisqu'il s'agit d'une question inhabituelle pour eux. Elle touche du doigt la difficulté essentielle montrée au précédant chapitre, à savoir la relation entre la réaction acido-basique et le modèle géométrique

Les résultats concernant les niveaux de connaissances et les différents types de liens existant entre eux sont consignés dans le tableau suivant (Tableau 46) :

| Sans relation | | Relation externe |
|---------------|---------|------------------|
| [E] | [M.géo] | [M.géo : E] |
| 1 | 6 | 2 |

Légende :

[E] : événement perceptible

[M.géo] : modèle géométrique

Tableau 46: Niveaux de connaissances et types de liens mis en oeuvre dans la transcription

Ce tableau montre que le binôme enregistré met en oeuvre principalement le niveau du modèle géométrique, un seul lien externe avec l'événement perceptible étant mis en oeuvre dans les dialogues.

Nader- 170 : oui point A ici et point B ici [M.géo]

Nader-172 : Ouh ici le point A [M.géo]

Nader-178 :C'est ça le point B / [M.géo]

Taoufik-179 : La partie délimitée par les points A et B indiqué sur la courbe par le couleur la couleur bleue [M.géo]

Taoufik-185 : Indication de la (::) partie de la courbe [M.géo]

Taoufik-189 : C'est la partie délimitée par AB voir courbe avec la couleur bleu héka wellalé ? (c'est ça ou pas) [M.géo]

Nous remarquons, d'après les passages de la transcription (185-186-188), que le binôme fait référence au dosage sans faire référence à sa réaction, il assimile le dosage à une courbe et pas comme une réaction acido-basique.

Taoufik-185 : Indication de la (:) partie de la courbe

Nader-186 : Qui correspond au dosage

Nader-188 : Au dosage / c'est la partie AB (... ?) c'est la partie AB

Etant donné qu'il a inversé le sens de la question, il en déduit une réponse qui fait intervenir les caractéristiques géométriques de la courbe et qui engendre une réponse fautive :

Nader – 164 : C'est la deuxième partie la partie intermédiaire euh on trouve le saut de dosage saut de pH /

Taoufik – 189 : C'est la partie délimitée par AB voir courbe avec la couleur bleue héka wellalé (c'est ça ou pas) ?

| Analyse a priori | | | Activité du binôme |
|------------------|--------|--------|--------------------|
| [E, e] | [a, e] | [é, e] | [M géo, E] |

Légende .
 [é] : événement reconstruit
 [a] : objet reconstruit
 [E] : événement perceptible
 [M géo] : modèle géométrique

Tableau 47 : Comparaison entre l'analyse a priori et l'activité du binôme

Nous constatons que les niveaux de connaissances pris en compte dans l'analyse a priori ne sont pas concordant avec ceux mis en œuvre dans l'activité du binôme. Il n'y a pas eu de dévolution puisque l'activité du binôme n'est pas conforme au savoir attendu.

L'événement perceptible présent dans l'analyse a priori, est relatif au début du dosage où la réaction chimique commence, par contre dans l'activité du binôme, l'événement perceptible représente le saut de pH. Ces étudiants sont au niveau du 1^{er} stade d'évolution de la construction du concept de réaction chimique de STAVRIDOU & SOLOMONIDOU (1998).

L'événement reconstruit qui n'est autre que la réaction chimique n'est pas utilisée dans cette question.

Toutefois, étant donné que la courbe du dosage présente à un certain moment un changement de courbure (saut de pH), ceci laisse l'étudiant réfléchir qu'il se passe quelque chose qui n'est autre que la réaction acido-basique relative au système réactionnel. Cette constatation nous mène à dire que le saut de pH, qui est un événement perceptible, induit l'étudiant en erreur dans son raisonnement. L'association directe entre l'événement perceptible et l'événement reconstruite est ici bien établie.

II.1.2. Résultats de la 2^{ème} question

La question adressée aux étudiants était formulée de la manière suivante :

A quoi correspond la partie de la courbe qui est en dehors des points A et B ?

Cette question est en lien direct avec celle qui la précède, elle concerne la partie en dehors des points A et B qui représente la réaction chimique.

Dans la transcription du binôme, nous constatons que ce dernier identifie la situation qui lui a été posée à une résolution de problème géométrique, la courbe du dosage de l'acide chlorhydrique par la soude est, selon ce binôme, composée de trois parties :

Nader – 190 : Ouh troisième question à quoi correspond la partie de la courbe qui est en dehors des points A et B ? euh les deux on a deux parties dehors de A et B

La réponse du binôme enregistré montre bien le transfert analogique entre le domaine chimique et le domaine mathématique. Pour ce dernier, la courbe de dosage présente trois parties, la réaction du dosage a lieu dans la partie intermédiaire c'est-à-dire la partie où il y a eu le saut de pH ceci montre le lien que font ces deux étudiants entre le saut de pH qui représente l'événement perceptible et la réaction de dosage qui est l'événement reconstruit.

Les niveaux de connaissances pris en compte par le binôme sont rassemblés dans le tableau suivant (Tab. 48) :

| Sans relation | | | | Relation interne | Relation externe | | | |
|---------------|-----|-----|-----|------------------|------------------|----------|------------|---------|
| [Mgéo] | [é] | [p] | [G] | [é;p] | [Mgéo ; é] | [Mgéo;p] | [Mgéo ; G] | [p ; G] |
| 3 | 1 | 0 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 |

Légende :
 [é] : événement reconstruit
 [p] : propriété reconstruite
 [G] : grandeur
 [Mgéo] : modèle géométrique

Tableau 48 : Niveaux de connaissances et types de liens mis en oeuvre dans la transcription

Nous constatons d'après le tableau, que le nombre de mises en relation entre les différents niveaux de connaissances s'accroît d'une question à une autre, et comme précédemment le modèle géométrique est trop présent dans le raisonnement de l'étudiant.

Ce dernier tableau montre que les principaux niveaux mobilisés par le binôme dans la résolution de cette question sont essentiellement le modèle géométrique et le niveau de grandeur.

Le niveau de l'événement reconstruit est présent dans la transcription en étroite relation avec la propriété reconstruite.

Dans leurs dialogues, le binôme enregistré, en expliquant les deux parties qui sont en dehors des points A et B, parlent de réaction acide ou de réaction basique ; il s'agit d'une confusion entre solution et réaction. Ce binôme attribue une propriété à l'événement, d'où la présence du lien entre l'événement reconstruit et la propriété reconstruite.

Nader – 192 : Première partie correspond euh euh la réaction est acidi acide

deuxième partie

Nader – 200 : La réaction est

Taoufik – 201 : La réaction est acide

Nader – 202 : Est acide car le pH /

Taoufik – 211 : A peu près 2,3 la partie acide la réaction est acide pH inférieur à 7 huum !

Taoufik –213 : Acide c'est-à-dire pH inférieur à 7 la deuxième partie / la réaction devient basique

Nous proposons une explication à l'origine de cette confusion : dans l'enseignement, il fréquent de montrer aux étudiants une solution en leur disant qu'il y a là une réaction d'où l'association erronée entre la solution qui est un objet perceptible et la réaction qui est un événement reconstruit.

Tableau 49: Comparaison entre l'analyse a priori et l'activité du binôme

| Analyse a priori | | | | | Activité du binôme | | | |
|------------------|---------|---------|---------|---------|--------------------|-------------|-------------|---------|
| [e , G] | [G , a] | [a , p] | [é , G] | [G , p] | [M géo , e] | [M géo , p] | [M géo , G] | [é , p] |
| | | | | | | | | [p , G] |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[a] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

[M géo] : modèle géométrique

Tableau 49: Comparaison entre l'analyse a priori et l'activité du binôme

D'après ce tableau, nous remarquons un écart entre l'analyse a priori et celle de l'activité du binôme, ce qui prouve qu'il n'y a pas eu de dévolution donc pas d'apprentissage.

Dans son raisonnement, le binôme ne peut pas se détacher de la courbe du dosage, comme s'il devait avoir un support perceptible pour la justification de sa réponse, ce qui explique les différents types de liens avec le niveau du modèle géométrique.

II.2. Résultats concernant le dosage conductimétrique

Dans cette partie, nous présentons la transcription faite par DUPONT (2002) d'un seul binôme du 1^{er} S d'un lycée français, concernant la question qui figure dans le TP « Notion du dosage » :

Placer la lettre A sur ce graphe pour indiquer le moment où la réaction de titrage commence, et la lettre B pour montrer où elle finit.

Ce binôme est formé par deux garçons Edouard et Vincent.

La partie de transcription entre ces deux élèves, est relative à la question qui se rapporte sur la courbe du dosage conductimétrique. Nous avons choisi un extrait de transcription qui montre le cheminement suivi par le binôme pour répondre à la question

ci-dessus.

Ainsi, selon BANGE (1992), lors d'une conversation, nous retrouvons couramment de grandes parenthèses qui permettent aux locuteurs de clarifier, d'expliquer ou de reformuler un point particulier, ces parenthèses sont la forme interactive directement observable de la négociation du sens.

L'activité du binôme en terme des niveaux de connaissances est regroupée dans le tableau 50 :

| Sans relation | | | Relation interne | Relation externe | | |
|---------------|-----|-----|------------------|------------------|---------|---------|
| [é] | [o] | [G] | [é;o] | [é ; E] | [E ; G] | [é ; G] |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |

Légende

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[G] : grandeur

[E] : événement perceptible

Tableau 50 : Niveaux de connaissances et types de liens mis en oeuvres dans la transcription

Ce tableau montre que ce binôme ne fait pas intervenir la courbe du dosage dans sa réflexion, par contre dans le dosage pH-métrique, elle est nécessaire au raisonnement.

Dans leurs dialogues, les élèves essaient de comprendre le rapport entre la réaction et le titrage. Pour eux, le titrage est un moyen de déterminer la concentration qui fait intervenir une réaction, d'où les liens [é ; E] et [E ; G] présents dans la transcription :

Vincent-1159 : Mais le titrage c'est pas la réaction c'est comment c'est le fait de trouver la concentration par rapport à une réaction

Cependant, pour ces deux élèves, la réaction acido-basique indique un moment et plus précisément un événement. Il s'agit d'une réponse à une de nos questions de recherche : quelle est l'influence des questions qui accompagnent l'expérience sur le raisonnement de l'apprenant ?

Selon ce binôme, la réaction du titrage commence au moment où " les deux réactifs sont ensemble". Nous pouvons dégager la conclusion suivante : pour pouvoir répondre à cette question, le binôme utilise le lien suivant [é,o].

Vincent-1145 : Ben non où elle commence la réaction elle commence à partir du moment où tu mets les deux non (?)

La fin de la réaction de titrage, est déterminé par la formation des "ions" H_2O (rectifié à la fin par molécules H_2O), qui confirme le lien [é,o].

Vincent-1155 : Et ben elle finit euh elle finit ben à la limite elle peut finir là puisque à partir de là on peut ben non un tout petit peu juste après 10 quoi là où on peut déterminer / puisque c'est le titrage c'est pour déterminer la concentration ou la conductivité / concentration c'est à partir

Edouard-1156 : Mais là aussi elle continue là à faire des ions H₂O

Edouard-1158 : Des molécules H₂O

Dans le tableau ci-dessous, nous comparons l'activité du binôme avec le savoir attendu pour voir s'il y a eu apprentissage.

| Analyse a priori | | | Activité du binôme | | | |
|-----------------------------|---------|---------|--------------------|---------|---------|---------|
| [E ; é] | [o ; ô] | [é ; ê] | [é,o] | [é ; E] | [E ; G] | [é ; G] |
| Légende | | | | | | |
| [é] : événement reconstruit | | | | | | |
| [o] : objet reconstruit | | | | | | |
| [G] : grandeur | | | | | | |
| [E] : événement perceptible | | | | | | |

Tableau 51 : Comparaison entre l'analyse a priori et l'activité du binôme

Nous remarquons, seul le lien entre la fin de la réaction chimique et l'équivalence [é ;é], n'est pas présent dans l'activité du binôme. Ce lien peut être remplacé par la relation entre la réaction chimique et les entités qui interviennent, puisque la fin de la réaction du dosage se manifeste par la formation des molécules d'eau H₂O, d'où le lien [é,o].

Edouard-1186 : ah oui les ions présents en solution / sont les ions Na⁺ et Cl⁻ / puisqu'à cet instant / tous les ions HO⁻ réagissent avec les ions H₃O⁺ / pour former / des molécules H₂O

Toutefois, à partir de la comparaison entre la question qui porte sur la courbe de titrage pH-métrique et celle du titrage conductimétrique, nous concluons que l'assimilation de la courbe relative à la conductimétrie en fonction de la concentration est beaucoup plus simple à comprendre par les apprenants que pour la courbe du pH en fonction du volume. La difficulté détectée, peut être en rapport avec la grandeur pH qui est une grandeur logarithmique.

Nous pouvons par la suite étendre notre conclusion, à partir de l'analyse des comptes-rendus des apprenants relatifs au dosage pH-métrique et ceux du dosage conductimétrique.

III. Comparaison des productions écrites

Dans cette partie, nous allons procéder de la même manière que dans la production verbale. En premier lieu, nous allons présenter les résultats relatifs aux deux questions du dosage pH-métrique puis les résultats de la question sur la courbe du dosage conductimétrique.

III.1. Résultats concernant le dosage pH-métrique (1^{ère} année d'université)

III.1.1. Résultats de la 1^{ère} question

Nous rappelons la question adressée aux étudiants:

Indiquer la partie de la courbe correspondante à la réaction du dosage. On indiquera

sur la courbe le point A du début de cette réaction et le point B de la fin de cette réaction..

Nous avons constaté dans les 40 copies analysées, trois sortes de réponses parmi lesquelles : deux d'entre elles sont fausses et une juste.

Ces différentes réponses sont regroupées dans le tableau 35. Nous avons groupé dans la 3^{ème} colonne, les différents types de liens existant dans chaque réponse.

| Types de réponses | Nombre de copies (N=40) | Types de liens entre les niveaux de connaissances |
|-------------------|----------------------------|--|
| Bonne réponse | 5 (12,5%) | [E :e] [G :o] [M.géo] [é:p][p:o] [E :é] |
| Saut de pH | 23 (62,5%) | [M.géo] [M.géo :é] [e :G] [M.géo:E] [E :G] [M.géo:p] [p :o] [E :é] [é :é] [G :o] |
| Courbe du dosage | 4 (10 %) | [M.géo] [M.géo:G] [G :o] |
| Pas de réponse | 6 (15 %) | 0 |

Légende :

[é] : événement reconstruit
[o] : objet reconstruit
[p] : propriété perceptible
[G] : grandeur
[E] : événement perceptible
[M.géo] : modèle géométrique

Tableau 52 : Types de liens existant dans les différentes réponses

Dans le tableau ci-dessus, nous constatons que le modèle géométrique se trouve parfois sans relation, cela s'explique par le fait que la réponse du binôme se limite uniquement à placer les lettres A et B sur la courbe, il n'écrit rien sur sa copie.

La bonne réponse (figure 28) s'explique par le fait que le binôme à placer la lettre A au début du dosage, et la lettre B à l'équivalence.

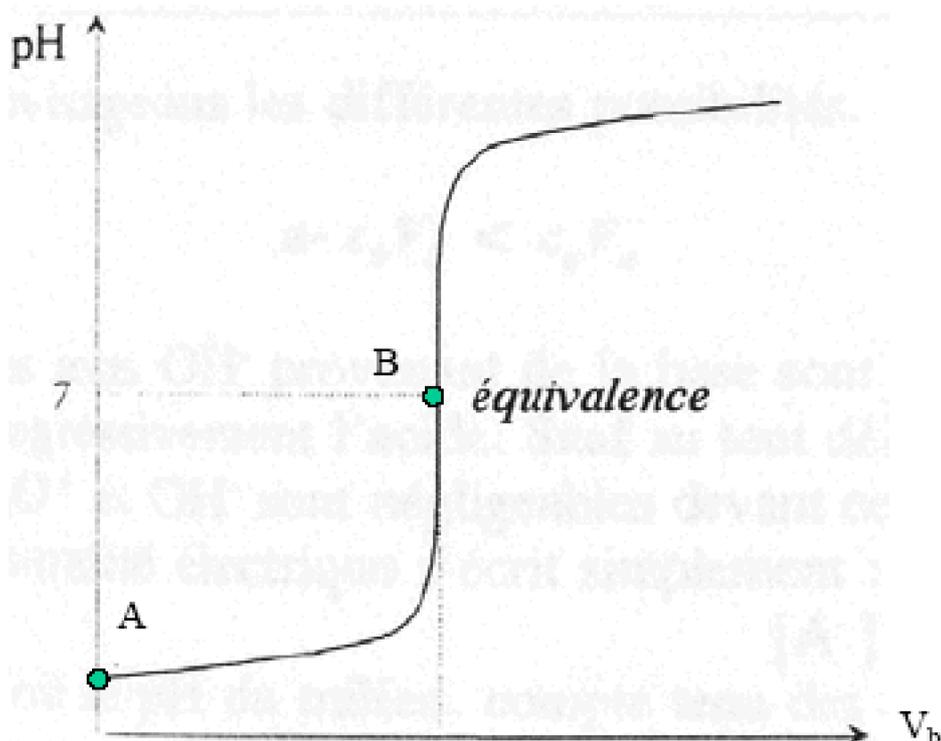


Figure 28 : Réponse relative à la catégorie « bonne réponse » de la question 1 du dosage pH-métrique

Copie 5 : Le dosage commence de A (temps de début de dosage) et déterminé au point d'équivalence B ($n\text{OH}^- = n\text{H}^+$) [E ;é] [G ;o]

Copie 7 : Voir papier millimétré [M.géo]

Copie 13 : La partie de la courbe de AB correspond du début de dosage jusqu'au point d'équivalence. [E ;é]

Copie 15 : La partie AB correspondante à la réaction du dosage A(0 ;11) et B(20 ;7) [M.géo]

Copie 37 : La partie de la courbe correspondante à la réaction du dosage est celle qui correspond à la neutralisation de l'acide c'est à dire des ions H^+ [é;p] [p;o]

Nous remarquons dans la copie 5 et 13, que les deux binômes utilisent le point d'équivalence dans leur raisonnement. Ce point détermine l'état d'équivalence qui leur indique la fin de la réaction. Ce résultat confirme celui que nous avons énoncé dans le chapitre précédent sur l'importance qu'occupe la notion du point d'équivalence pour la construction des connaissances chez l'apprenant.

Dans l'analyse *a priori*, nous avons précisé que, selon le point de vue du savoir savant, l'étudiant peut mobiliser les liens suivants : [E;é] ; [o;é] et [é;é] pour pouvoir répondre correctement à la question. Etant donné que nous n'avons pas demandé une justification à cette question, nous nous limitons au lien [E ; é] dans la réponse correcte.

La réponse relative au saut de pH (figure 28), présente un fort pourcentage (62,5 %) par rapport à la bonne réponse (12,5 %). Les étudiants associent la réaction chimique (événement reconstruit) au saut de pH (événement perceptible), ce résultat montre la difficulté des étudiants face à la compréhension du concept de réaction chimique lors d'un dosage acide fort / base forte.

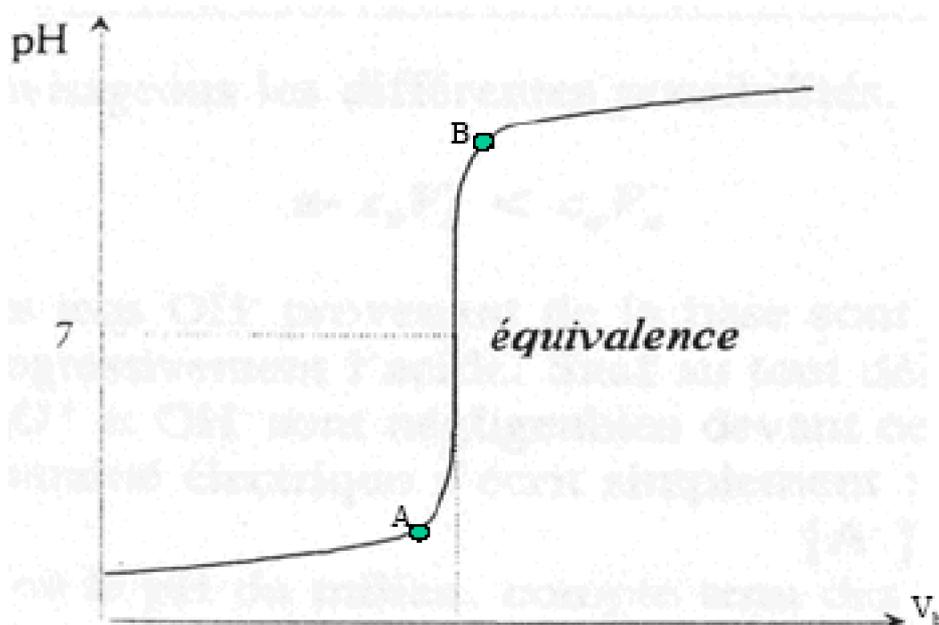


Figure 29 : Réponse relative à la catégorie « saut de pH » de la question 1 du dosage pH-métrique

Copie 16 : Voir papier millimétré (saut de pH) [M.géo]

Copie 2 : La partie de la courbe correspondant à la réaction du dosage est celle qui encadre le point d'équivalence (voir courbe) $V_{BE}=20,2\text{mL}$ et $\text{pH}=6,8$ [M.géo ;é] [é;G]

Copie 31 : La partie de la courbe qui correspond à un saut de pH qui contient une variation importante du pH ou saut de pH où le volume □ [21 ;22] [M.géo ;E] [E;G]

Copie 8 : La partie AB correspond à la zone de virage de l'acide [M.géo;p] [p ;o]

Copie 14 : Une 2ème partie entre A et B au cours de laquelle il y a un saut brusque de pH est appelé réaction du dosage au cours du quelle on a une équivalence acido-basique $nA = nb$ [E;é] [é;é] [G ;o]

Cependant, nous avons constaté dans les résultats précédents que le point d'équivalence représente une notion utile dans le raisonnement de l'apprenant. Etant

donné que le saut de pH englobe le point d'équivalence où l'état d'équivalence, nous supposons que l'étudiant puisse réfléchir sur le fait que la réaction chimique peut avoir lieu au saut de pH, ce qui explique un fort pourcentage pour ce type de réponse.

- Pour ce dernier type de réponse (10 %), les étudiants appartenant à cette catégorie confondent l'action de doser à réaction chimique.

Copie 17 : Voir papier millimétré (toute la courbe du dosage) [M.géo]

Copie 22 : Voir courbe (toute la courbe du dosage) [M.géo]

Copie 23 : La partie de la courbe correspondante à la réaction du dosage est celle où la pente de la courbe est presque vertical c'est à dire quand le pH croit brusquement est se transforme d'un pH acide a un pH basique [M.géo ;G] [G ;o]

Copie 24 : Voir courbe (toute la courbe du dosage) [M.géo]

Cette confusion est due probablement au fait que, lors de la manipulation l'étudiant continue à prendre des valeurs jusqu'à ce que le pH de la solution reste constant. Ce qui peut engendrer une analogie entre fin du dosage et fin de réaction.

III.1.2. Résultats de la 2^{ème} question

Nous rappelons la deuxième question adressée aux étudiants:

A quoi correspond la partie de la courbe qui est en dehors des points A et B ?

Nous avons regroupé, dans le tableau 53, les réponses des 40 binômes suivant les mêmes catégories de réponses de la question précédente :

Tableau 53 : Types de liens existant dans les différentes réponses

| Types de réponses | Nombre de copies (N= 40) | Types de liens entre les niveaux de connaissances |
|-------------------|--------------------------|--|
| Bonne réponse | 5 (12,5%) | [M.géo ;M.géo] [O ;p] [G ;o] [O ;o] [o ;p] [O ;p] [p ;G] [p;O] [p;o] |
| Saut de pH | 23 (57,5%) | [E ;O] [G ;O] [O ;p] [O;p] [M.géo ;G] [M.géo ;O] [O ;p] [M.géo ;O] [O ;p] [O ;G] [E ;O] [O ;p] [M.géo ;p] [M.géo ;G] [G ;p] [G ;O] [O ;p] |
| Courbe du dosage | 3 (7,5 %) | [E ;G] [E ;O] [O ;p] |
| Pas de réponse | 9 (22,5 %) | 0 |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété perceptible

[G] : grandeur

[E] : événement perceptible

[O] : objet perceptible

[M.géo] : modèle géométrique

Nous analysons, à partir du tableau, les différents types de réponses :

Dans la catégorie bonne réponse, chaque binôme doit préciser dans sa réponse que la partie de la courbe en dehors des points A et B correspond à un ajout de soude.

Copie 5 : La partie qui est en dehors de ce dosage la courbe est presque une droite la solution est entièrement basique et $[\text{OH}^-] \gg [\text{H}_3\text{O}^+]$ (milieu basique) [M.géo ;M.géo] [O ;p] [G ;o]

Copie 7 : La partie de la courbe en dehors des points A et B correspond à une solution de base forte [O ;o] [o ;p]

Copie 13 : En dehors de la partie AB c'est qui correspond à une solution basique qui due à l'excès du pH [O ;p] [p ;G]

Copie 15 : La partie de la courbe correspondre en dehors de A et B indique caractère basique de solution due au excès de NaOH [p;O] [p;o]

Nous avons signalé, dans l'analyse *a priori*, que la réponse du binôme peut mobiliser les liens suivants pour avoir une réponse correcte : [é ;G] ; [G ;o] ; [o ; p] et [p ;G].

De même que la question précédente, vu que nous n'avons pas exigé une justification dans le texte de la question, uniquement le lien [o ; p] doit être nécessairement présent dans la réponse du binôme.

Nous constatons dans la réponse du binôme 5 (copie 5), présente une confusion entre le dosage et la réaction, bien que sa réponse soit correcte :

Copie 5 (1ère question) : Le dosage commence de A (temps de début de dosage) et déterminé au point d'équivalence B ($n\text{OH}^- = n\text{H}^+$)

Copie 5 (2ème question) : La partie qui est en dehors de ce dosage la courbe est presque une droite la solution est entièrement basique et $[\text{OH}^-] \gg [\text{H}_3\text{O}^+]$ (milieu basique)

Cette confusion peut être à l'origine due, à la pratique d'enseignement.

Dans la catégorie saut de pH, la majorité des binômes pensent qu'il existe deux parties en dehors des points A et B bien que la question indique bien qu'il y a une partie en dehors de ces points.

Ce type de réponse est dû au fait que l'étudiant analyse la courbe d'une manière géométrique en pensant que la courbe du dosage est formée de trois parties : une partie qui englobe le saut de pH où la réaction acido-basique se passe et les deux autres parties constituent une transformation d'un milieu acide vers un milieu basique.

Copie 1 : D'après les valeurs de pH et l'interprétation de ces parties de ce courbe on conclure que la il y a changement de milieu [E ;O]

Copie 4 :On constate que la partie de la courbe qui est en dehors des points A et B on a que la solution à transforment de milieu acide vers un milieu basique [O;p]

Dans la catégorie courbe du dosage, ces trois binômes pensent que la réaction acido-basique a eu lieu au niveau de saut de pH puisqu'il n'existe pas de parties en dehors des points A et B dans cette catégorie de réponse.

Copie 17 : La partie en dehors du A et B correspond à la variation du pH [E ;G]

Copie 22 : On constate que la partie de la courbe qui est en dehors des points A et B est que la solution a transformé de milieu acide vers un milieu basique [E ;O] [O ;p]

Copie 23 : On constate que la partie de la courbe qui est en dehors des points A et B correspond à la transformation d'un milieu acide vers un milieu basique [E ;O] [O ;p]

L'analyse des productions écrites des deux questions appartenant au dosage pH-métrique, confirme les résultats de l'analyse de la production verbale tels que la courbe du dosage pH-métrique présente un obstacle à l'apprentissage de la réaction acido-basique étant donné que l'apprenant fait un rapport entre l'événement reconstruit (réaction acido-basique) et l'événement perceptible (saut de pH).

III.2. Résultats concernant le dosage conductimétrique (élèves de 1^{ère} S en France)

La question qui a été adressée aux élèves de 1^{ère} S dans le TP « Notion du dosage » est la suivante :

Placer la lettre A sur ce graphe pour indiquer le moment où la réaction de titrage commence, et la lettre B pour montrer où elle finit.

Etant donné que la question se limite uniquement à placer les deux lettres A et B sur le graphe, nous avons constaté que tous les élèves (N = 21) n'ont pas donné de justification sur leur compte-rendu.

Si l'élève a bien répondu à la question ci-dessus, nous pouvons dire que le lien entre le modèle géométrique (courbe du dosage) et l'événement reconstruit (réaction chimique) est bien établi, sinon ce lien n'existe pas.

Tableau 54 : Types de liens existant dans les différentes réponses

| Types de réponses | Nombre de copies (N= 21) | Types de liens entre les niveaux de connaissances |
|-------------------|--------------------------|---|
| Bonne réponse | 10 (47,5%) | [M.géo ;é] |
| Courbe du dosage | 1 (5 %) | 0 |
| Pas de réponse | 10 (47,5 %) | 0 |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[M.géo] : modèle géométrique

Nous présentons dans ce qui suit la réponse correcte des 10 élèves qui ont répondu à la question citée ci-dessus:

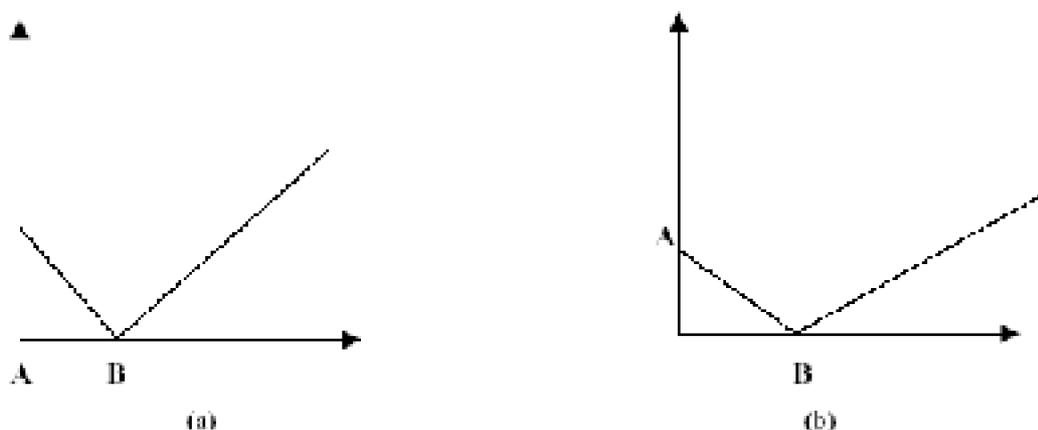


Figure 30 : Réponses relatives à la catégorie « bonne réponse » de la question 1 du dosage conductimétrique

Ces deux types de réponses sont comptabilisés dans la catégorie bonne réponse, la seule différence qui existe dans ces deux graphes est la lettre A. Dans la figure 30 (Fig.30.a), l'élève a placé la lettre A à l'instant où le dosage a commencé sans tenir compte de la valeur de la conductivité, par contre dans la figure 30 (Fig.30.b), l'élève fait le rapport entre le début du dosage et la valeur de la conductivité. Dans cette catégorie, le lien entre le modèle géométrique et l'événement reconstruit est bien établie. Les niveaux de connaissance auxquels la question fait référence sont bien existant dans la réponse des élèves ainsi que le lien entre eux.

La réponse correcte à cette question dans le dosage pH-métrique représente 12,5%, alors que dans le dosage conductimétrique, elle représente 47,5%. Ceci montre que la courbe conductimétrique favorise la compréhension du concept de réaction chimique.

La réponse du seul élève appartenant à la catégorie courbe du dosage est représentée de la manière suivante :

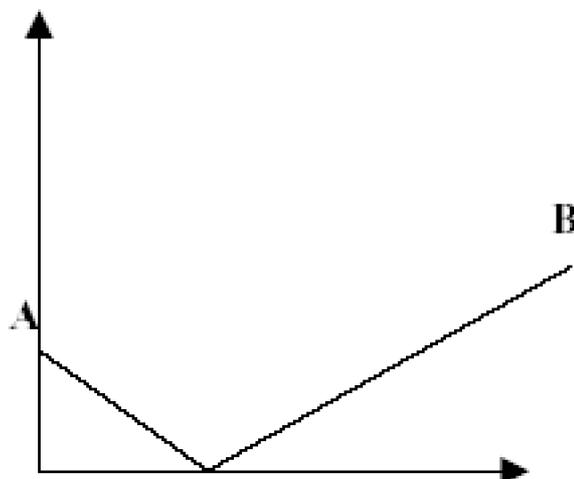


Figure 31 : Réponse relative à la catégorie « courbe du dosage » de la question 1 du dosage conductimétrique

Cette catégorie de réponse est de 5% pour le dosage conductimétrique alors que pour le dosage pH-métrique, elle est le double 10%.

Pour cet élève, la réaction du dosage représente toute l'action de doser, ne faisant en aucun cas le lien avec le monde reconstruit. Pour lui, la réaction acido-basique ne représente pas un événement reconstruit mais plutôt une action de doser.

IV. Conclusion

A partir des résultats de la comparaison entre la question qui porte sur la courbe de titrage pH-métrique et celle du titrage conductimétrique, nous concluons que l'assimilation de la courbe relative à la conductimétrie en fonction de la concentration est beaucoup plus simple à comprendre par les apprenants que pour la courbe du pH en fonction du volume.

Concernant le dosage pH-métrique, les étudiants confondent saut de pH à la réaction acido-basique puisqu'ils ne s'aperçoivent pas que cette dernière commence avant le saut de pH. La raison que nous pouvons présenter, est qu'au cours du dosage pH-métrique rien ne se passe au début puis à un certain moment il se passe quelque chose de perceptible donc c'est la raison pour laquelle fait le lien événement reconstruit (réaction acido-basique) avec l'événement perceptible (saut de pH).

Toutefois, si nous analysons la courbe conductimétrique, cette dernière force les élèves à une interprétation juste de la réaction acido-basique.

La courbe conductimétrique est en lien avec une relation mathématique :

$$\sigma = \lambda_X[X] + \lambda_Y[Y]$$

avec σ : conductivité de la solution

$\lambda_{X,Y}$: conductivités molaires ioniques respectives des ions X et Y

Cette relation mathématique met en jeu la concentration des ions X et Y présents en solution, c'est la raison pour laquelle les élèves vont donner du sens à la courbe et le lien entre l'événement reconstruit (réaction acido-basique) et les objets reconstruits (entités chimiques présents en solution) sera bien établie.

Par ailleurs, la courbe pH-métrique a le défaut géométriquement d'indiquer un moment (saut de pH) qui continue tout au long du dosage, par contre la courbe conductimétrique indique un moment qui correspond à un minimum indiquant la fin de la réaction du dosage.

La difficulté détectée dans la courbe du dosage pH-métrique, peut être en rapport avec la grandeur pH qui est une grandeur logarithmique.

Nous constatons à partir des résultats précédents, que la courbe conductimétrique favorise l'apprentissage de la réaction acido-basique qui n'est pas le cas pour la courbe pH-métrique.

Chapitre 3. Analyse du TP2: "DOSAGE DE POLYACIDES "

Dans cette partie, nous présentons les résultats liés à la réalisation du TP2 " dosage de polyacides", en une comparaison avec l'ancienne version de ce TP.

Nous analysons, tout d'abord ce TP, du point de vue des connaissances qu'il met en jeu et qu'il vise à construire, puis en prenant en compte les activités de modélisation qu'il va permettre aux étudiants de mettre en œuvre, nous comparerons cette analyse avec celle des activités de modélisation mises en œuvre par les étudiants dans son ancienne version.

I. Texte du TP2 (Nouvelle version)

I.1. Texte d'origine TP03 « Dosage de polyacides »

Le TP2 a été construit à partir du TP03 (version antérieure à 1999) qui porte le même titre « dosage de polyacides » que nous présentons ci-dessous. Ce texte a subi des modifications au niveau du travail de réflexion que nous allons analyser dans ce chapitre.

Le texte du TP03 fourni aux étudiants comprend un développement théorique, des méthodes à utiliser pour obtenir les mesures à effectuer et des questions.

La première manipulation de ce TP, consiste à réaliser le dosage d'un diacide : l'acide sulfurique H_2SO_4 par une solution de soude NaOH en présence d'un indicateur coloré (dosage volumétrique), puis un dosage pH-métrique. Le texte fourni aux étudiants donne d'abord le mode opératoire :

MANIPULATION

a- Dosage volumétrique de l'acide sulfurique

- Mettre dans la burette une solution de soude de titre connue.
- Verser dans un bécher 10mL de la solution de H_2SO_4 à doser (à l'aide de pipette).
- Effectuer le dosage en présence d'indicateur coloré.

b- Tracé de la courbe de titrage de H_2SO_4 par la soude de titre connu

- Mettre dans un bécher 10mL d'acide + 10mL d'eau et effectuer le dosage à l'aide du pH-mètre.
- On rappelle que les additions de soude se feront selon la variation du pH de $1cm^3$ à $1cm^3$ au départ et de $0,2cm^3$ à $0,2cm^3$ au voisinage du point d'équivalence.

Ce texte est essentiellement rédigé en terme d'objets (burette, solution...), d'événements (verser, effectuer ...) du monde perceptible.

Puis des calculs sont proposés :

CALCULS

- Ecrire l'équation de la réaction de dosage.
- Calculer :
 - Le nombre de moles d'ions OH^- ajoutées,
 - Le nombre de moles d'ions H_3O^+ dosés dans les V_0 mL de départ,
 - Le nombre de moles de H_2SO_4 dans les V_0 mL de départ,
 - La concentration molaire en H_2SO_4 (C_a)
 - Le titre massique en H_2SO_4
- D'après les expériences précédentes, montrer que l'acide sulfurique se comporte ici comme un monoacide.

Les questions présentées aux étudiants après la réalisation de l'expérience relèvent du monde reconstruit (réaction) et du niveau des grandeurs (nombre de moles, concentration...). L'événement reconstruit (la réaction chimique) est pris en considération dans la partie réflexion. Les questions relatives aux calculs de la quantité de matière (nombre de moles), ne présentent aucun objectif d'apprentissage pour l'apprenant

puisque la conclusion qu'il doit dégager à partir des calculs est déjà donnée dans la dernière question.

Dans cette partie du TP03, l'étudiant est amené à réaliser deux dosages : l'un volumétrique et l'autre pH-métrique, les questions présentes dans le texte du TP, n'indiquent pas à quel dosage sont valables. L'objectif de ces deux dosages n'est pas explicité.

La seconde partie concerne le dosage d'un polyacide : l'acide phosphorique H_3PO_4 .

Comme pour le dosage de l'acide sulfurique, l'étudiant est amené à réaliser un dosage volumétrique puis un dosage pH-métrique.

MANIPULATION

a- Dosage volumique d'une solution d'acide phosphorique

- Mettre dans la burette de la soude de titre connu et dans un bécher 10mL d'acide phosphorique à doser.
- Effectuer le dosage en présence d'hélianthine puis en présence de phénolphtaléine.

Remarque :

La 3^{ème} acidité étant trop faible pour donner lieu à une variation brusque de pH, on ne la titrera pas aux travaux pratiques

b- Tracé de la courbe

- Prélever à la pipette 10mL d'acide, les verser dans un bécher et ajouter 10mL d'eau.
- Effectuer le dosage à l'aide du pH-mètre tout en traçant la courbe $\text{pH} = f(V)$.

Selon notre cadre théorique, nous codons les termes utilisés dans le texte de la manipulation, comme appartenant majoritairement au monde perceptible (burette, solution, indicateurs colorés...), sauf la remarque appartient au monde théorique puisqu'elle relie une propriété de l'acide phosphorique à son comportement lors d'une expérience de titrage.

Puis des calculs sont proposés :

CALCULS

Lorsqu'on a dosé la première acidité, on a titré le tiers des moles d'ions H_3O^+ libérables par la solution, lorsque l'on a dosé les deux premières acidités on a titré les deux tiers des moles d'ions H_3O^+ libérables par la solution.

- Ecrire les équations des réactions qui ont lieu lors du dosage.
- Soient C_a et C_b les concentrations molaires de l'acide phosphorique et de la soude. Soit V_1 le volume de soude nécessaire à la neutralisation de la première acidité et V_2 celui correspondant à la neutralisation des deux premières acidités.
 - - Exprimer dans les deux cas le nombre de moles de H_3O^+ dosés en fonction de V_1 ou V_2 .

- - Calculer dans les deux cas la concentration molaire de la solution en H_3PO_4 (C_a).
 - - Calculer le titre massique (P = 31 ; O = 16).
 - - Le choix des indicateurs est-il satisfaisant.
- Calcul d'incertitude :
- - Donner les expressions littérales de l'incertitude relative sur la concentration relative sur la concentration pour chaque dosage.
 - - Quel indicateur permet de déterminer la molarité avec la meilleure précision ?

Au début des calculs, le texte présente un aperçu théorique permettant d'aider les étudiants à comprendre le comportement de l'acide phosphorique pendant le dosage. Le niveau de l'événement reconstruit (réaction du dosage) se manifeste au niveau de sa représentation symbolique (équation). Par la suite, ce qui est demandé aux étudiants relève majoritairement du modèle numérique.

La dernière partie de ce TP traite du dosage d'un mélange de deux acides : l'acide sulfurique H_2SO_4 et l'acide phosphorique H_3PO_4 .

MANIPULATION

- Tracé de la courbe :

Prélever à la pipette 10mL de H_2SO_4 + 10mL de H_3PO_4 et effectuer le dosage avec le pH-mètre.

- Résultats :
- Déterminer, à partir de la courbe de dosage, le volume de soude correspondant au premier saut de pH (V_1) et celui correspondant au second saut de pH (V_2).
 - Calculer la concentration molaire de chacun des deux acides dans le mélange (le volume de mélange dosé est $20m^3$).

Les termes utilisés dans cette partie du texte du TP03 soit appartiennent au monde perceptible soit au modèle géométrique soit au modèle numérique. Les résultats qui seront dégagés à partir de cette expérimentation n'ont pas un objectif d'apprentissage nouveau pour l'apprenant, il s'agit bien d'une constatation des faits.

A partir de la description du texte original de l'ancienne version du TP2, nous pouvons constater que dans tous les procédés expérimentaux et les questions à traiter, la réaction chimique n'est prise en compte que sous la forme d'une représentation symbolique (l'écriture des équations).

En dépit de la présence d'une partie théorique, les objectifs conceptuels ne sont pas identifiables et le texte du photocopié présente les caractéristiques d'un texte à visée pragmatique (RICHARD, 1990).

Les analyses que nous avons faites du texte de TP03 mettent en évidence un point que nous estimons faible mais important : l'absence quasi-totale du lien entre les calculs à faire dans les trois types de dosages et leurs apports dans la construction de la connaissance chez l'apprenant. Il est bien sûr difficile d'inciter les étudiants à réfléchir, mais il nous semble que c'est indispensable pour une compréhension correcte des phénomènes chimiques et de leurs fonctionnements. Cette idée rejoint celle que nous avons évoquée dans l'analyse des textes du TP01, TP02 et TP05.

I.2. Description de la version finale du TP2 « Dosage de polyacides »

Le texte du TP2 que nous avons construit est donné aux étudiants sous forme de photocopié le jour même de la séance. Nous décrivons tout d'abord le texte du TP2, puis nous caractériserons les objectifs et les connaissances mises en jeu de la séance elle-même.

Nous mettons en lumière dans ce qui suit, quelques caractéristiques de ce texte permettant la compréhension des observations qui suivent.

La première expérience dans ce TP, consiste à réaliser un dosage d'une solution d'acide sulfurique à l'aide d'une solution de soude.

EXPERIENCE

- - Mettre dans une burette une solution de soude de concentration 0,1 M.
- -En utilisant une pipette Introduire dans un bécher 10 mL d'une solution d'acide sulfurique de concentration 0,05 M.
- -Préparer le système de mesure du pH, et étalonner le pH-mètre si nécessaire.
- -Ajouter suffisamment d'eau distillée pour que l'électrode soit convenablement immergée.
- -Effectuer le dosage par pH-métrie de la solution acide.
- -Tracer la courbe donnant l'évolution du pH en fonction du volume de soude ajoutée.

Les consignes données aux étudiants ne peuvent être rédigées uniquement qu'avec des termes appartenant au monde perceptible : « mettre, effectuer, solution, burette... ». Nous constatons que cette première expérience est la même que celle de l'ancienne version ainsi que la formulation du texte.

Toutefois, notre hypothèse principale de recherche est que les difficultés que rencontrent les étudiants au niveau des acides et des bases relèvent de la non compréhension du concept de réaction acido-basique.

Lors de la construction des questions de réflexion, nous nous sommes focalisés sur le concept de réaction chimique pour pouvoir détecter le niveau de compréhension de l'étudiant de ce concept à travers les acides et les bases.

La manière dont ces questions de réflexions sont présentées, vont aider l'étudiant à construire une connaissance relative à chaque dosage : « (...) *le savoir est une association entre les bonnes questions et les bonnes réponses* » (BROUSSEAU, p.58,

1998).

Par la suite, nous présentons les questions relatives au 1^{er} dosage :

EXPLOITATION DES RESULTATS :

1. Combien de saut(s) de pH observe-t-on expérimentalement ?
2. Déduire, à partir du volume d'équivalence, la quantité d'ions HO^- nécessaires pour la neutralisation de l'acide.
3. Quelle est l'équation du dosage ?
4. En déduire la quantité de matière d'ions H^+ qui a été dosée ? Comparer cette quantité à celle de H_2SO_4 dans 10mL.
5. Que peut-on en déduire concernant le comportement de l'acide sulfurique H_2SO_4 en solution aqueuse ?

De la première question à la cinquième, nous avons suivi un ordre chronologique bien déterminé dans la construction de la connaissance, pour que l'apprentissage s'opère. Cet ordre que nous avons adopté se focalise au niveau du lien entre le monde perceptible (saut de pH) et le monde reconstruit (HO^- , équation du dosage...), c'est-à-dire que nous avons aidé les étudiants à établir ce lien et à dépasser cette difficulté.

A la suite du dosage pH-métrique, l'étudiant est amené à réaliser un dosage volumétrique de l'acide sulfurique en présence d'indicateur coloré. L'objectif d'apprentissage de ce dosage est de confirmer les résultats du dosage pH-métrique sur le comportement de l'acide sulfurique en solution aqueuse.

TRAVAIL DE REFLEXION :

Décrire une méthode de dosage de l'acide sulfurique utilisant un indicateur coloré. On1. justifiera le bien fondé de la méthode proposée à l'aide du travail qui vient d'être effectué.

Doser par cette méthode un échantillon d'acide sulfurique de concentration inconnue 2. sans utiliser de pH-mètre.

En déduire :

- La quantité de matière d'ions H_3O^+ dosés,
- la quantité de matière d'acide sulfurique dans l'échantillon dosé,
- la concentration molaire en acide sulfurique.

A partir des deux dosages précédents, nous signalons que lors de la construction de ce TP nous avons suivi une démarche précise au niveau de la conception des expériences et des questions de réflexions qui est quasi-absente dans l'ancienne version.

La deuxième partie de ce TP porte sur le dosage d'une solution d'acide phosphorique (H_3PO_4) par une solution de soude (NaOH).

Expérience

- Prélever à la pipette 10mL d'une solution aqueuse d'acide phosphorique 0,05 M.
- Ajouter une quantité d'eau distillée suffisante pour que l'électrode soit convenablement immergée.
- Doser par de la soude de concentration 0,1 M tout en mesurant le pH.
- Tracer la courbe $\text{pH} = f(\text{Volume de soude})$. On fera en sorte que le volume V ajouté soit "suffisant", et l'on justifiera pourquoi on a considéré que ce volume était suffisant.

Au niveau de cette deuxième expérience, nous avons incités l'étudiant à établir le lien entre l'événement perceptible et l'événement reconstruit, c'est-à-dire lors de la réalisation du dosage l'étudiant doit réfléchir sur le système réactionnel afin de savoir le volume de soude suffisant pour la neutralisation de l'acide

EXPLOITATIONS DES RESULTATS

1. Combien de sauts de pH apparaissent-ils ?
2. Déterminer les coordonnées de chaque point d'équivalence (Volume et pH). Que remarque-t-on à propos des différents volumes d'équivalences ?
3. Sachant que l'acide phosphorique H_3PO_4 est un triacide, interpréter ce qui vient d'être remarqué à propos des différents volumes d'équivalence. On pourra faire différentes hypothèses sur la force des différentes acidités de l'acide phosphorique et voir si ces hypothèses sont confirmées ou infirmées par l'expérience réalisée.
4. Votre interprétation vous permet-elle de confirmer que vous avez ajouté suffisamment de soude avant d'arrêter les mesures ?
5. Comment pourrait-on doser une solution d'acide phosphorique à l'aide d'indicateurs colorés, et sans pH-mètre ? On proposera un mode opératoire et on le réalisera en dosant à nouveau la solution d'acide phosphorique par la soude.

A travers cette exploitation des résultats, l'étudiant doit être capable de décrire le comportement de l'acide phosphorique H_3PO_4 en solution aqueuse. Ces questions de réflexion amènent l'étudiant à se baser dans ses réflexions sur les réactions chimiques qui ont eu lieu entre un polyacide (acide phosphorique H_3PO_4) et une base forte (soude NaOH).

Dans la troisième partie de ce TP, nous abordons le dosage d'un mélange d'acides (acide phosphorique H_3PO_4 + acide sulfurique H_2SO_4) à l'aide d'une solution de soude.

EXPERIENCE

- Introduire dans un bécher 10 mL de la solution d'acide sulfurique de concentration 0,05 M et autant de la solution d'acide phosphorique de même concentration. On utilisera pour chaque acide une pipette propre (ou rincée à l'eau distillée puis avec une petite quantité de la solution à prélever)
- Réaliser le dosage à l'aide de la solution de soude 0,1M.
- Tracer la courbe $\text{pH} = f(\text{Volume de soude})$

Le texte de l'expérience est rédigé en termes du monde perceptible (bécher, pipette, solution) et du monde reconstruit (acide sulfurique, soude)

Travail de réflexion

1. Combien de saut(s) de pH observe-t-on ?
2. A quoi correspond chaque saut observé sur la courbe de dosage ? Ecrire l'équation de la réaction mise en jeu dans chaque cas.
3. En déduire une méthode pour doser, par volumétrie, un mélange formé d'acide sulfurique et d'acide phosphorique en solution aqueuse.

Ces questions de réflexion incitent à l'étudiant utiliser le concept de réaction acido-basique dans leur raisonnement.

APPLICATION

- Prélever un échantillon de 10mL d'un mélange d'une solution aqueuse d'acides sulfurique et phosphorique et le doser par la méthode qui vient d'être proposée.
- Indiquer brièvement une méthode de préparation de la solution qu'on vient de doser. On y précisera les concentrations des solutions utilisées et leur quantité.

Cette application est présentée à l'étudiant pour valider la méthode que nous lui avons demandée de proposer dans la question qui précède.

L'analyse du texte du TP2, montre que nous avons adopté une démarche bien précise dans la formulation des questions, c'est-à-dire que nous avons construit un milieu permettant à l'apprenant d'avoir un moyen pour évaluer ses réponses (BROUSSEAU, 1998).

La finalité de cet enseignement que nous voulons atteindre est de, développer les capacités intellectuelles de l'apprenant en lui permettant de comprendre, de raisonner et de construire des apprentissages intelligents et fonctionnels lors de l'apprentissage des réactions acido-basiques relatives à ce dosage

1.3. Comparaison des deux textes de TP

La comparaison de l'ancien texte (TP03) et du nouveau texte (TP2) a été faite à l'aide de la carte d'analyse élaborée à partir des travaux de TIBERGHEN & al. (2001).

Le texte de l'ancien TP a été modifié au niveau des questions de réflexion à fin de permettre aux étudiants d'établir des liens entre les niveaux de connaissances des théories/modèle et le monde reconstruit.

Nous présentons par la suite les résultats de l'analyse des textes du TP03 et TP2 à l'aide de la carte d'analyse élaborée par TIBERGHEN & al. (2001) au profit du projet « Labwork in Science Education ». Cette carte présente plusieurs dimensions, nous allons procéder dans notre analyse non pas par question de chaque texte de TP, mais plutôt suivant chaque dimension de la carte d'analyse. Chaque question peut englober différentes questions de l'ancienne et de la nouvelle version du TP2.

1.3.1. 1^{ère} dimension : Objectifs d'apprentissage

La première dimension de la carte traite des résultats espérés et plus précisément des objectifs d'apprentissage que nous pouvons trouver dans un texte de TP dans le but d'aider l'élève au niveau du contenu ainsi au niveau du processus d'apprentissage.

Tableau 55 : Résultat de la 1^{ère} dimension

| A: Résultat espéré | | |
|--------------------|------|-----|
| | TP03 | TP2 |
| 1 | X | X |
| 2 | X | X |
| 3 | X | X |
| 4 | X | X |
| 5 | | X |
| 6 | X | X |
| 7 | X | X |
| 8 | | |
| 9 | X | X |
| 10 | | X |
| 11 | | |

Légende :

| |
|--|
| 1 : Identifier des objets et des phénomènes et à se familiariser avec eux |
| 2 : Apprendre un ou des fait(s) |
| 3 : Apprendre un concept |
| 4 : Apprendre une relation |
| 5 : Apprendre une théorie/ modèle |
| 6 : Apprendre comment utiliser un instrument de laboratoire courant, ou installer et utiliser un dispositif expérimental classique |
| 7 : Apprendre comment exécuter un mode opératoire classique |
| 8 : Apprendre comment planifier une recherche pour s'attaquer à une question ou à un problème spécifique |
| 9 : Apprendre comment traiter les données |
| 10 : Apprendre comment utiliser des données pour appuyer une conclusion |
| 11 : Apprendre comment communiquer les résultats de leur travail |

A partir du tableau 37, nous pouvons constater que la différence entre l'ancien texte et le nouveau texte du TP réside au niveau du 5^{ème} objectif qui porte sur l'apprentissage d'une théorie ou d'un modèle et du 10^{ème} objectif qui indique si le texte du TP aide l'élève à apprendre comment utiliser leurs données pour appuyer une conclusion.

Lorsque nous examinons l'ancien texte à partir des résultats de la 1^{ère} dimension

(Tableau 55) de la carte, nous remarquons que dans le TP03 il y a une absence quasi totale d'entraînement à la conception d'expériences dans le but de montrer ce que l'apprenant doit acquérir comme connaissance.

Il est bien sûr difficile d'inciter les étudiants à réfléchir, mais il nous semble que ceci est indispensable pour une compréhension correcte des phénomènes chimiques et de leurs fonctionnements.

Cependant, cet ancien texte ne montre pas d'une manière très explicite l'enjeu de faire les différents calculs dans chaque dosage, quelle conclusion peut tirer l'étudiant à partir de ces calculs ? Bien évidemment dans chaque séance de TP, l'apprenant doit apprendre à manipuler, ce qui est essentiel dans un enseignement expérimental, en vue de valider la théorie. Si nous nous penchons sur l'analyse des différentes questions se trouvant dans le texte du TP03 (chapitre méthodologie), nous pouvons constater qu'il s'agit uniquement des questions habituelles en chimie relevant du niveau modèle numérique, ce qui conduit l'étudiant à faire uniquement des mesures ou bien des calculs mathématiques, sans que les objectifs de la séance soient fixés et sans que les étudiants soient informés de leur utilité.

L'un des objectifs de l'enseignement des TP au 1^{er} cycle universitaire est d'amener l'étudiant à être vraisemblablement conscient des objectifs conceptuels et théoriques et peu des autres types d'objectifs tels que les objectifs de savoir-faire et de méthode (SÉRÉ & BENEY, 1997). Lors de la construction de notre séquence, notre objectif était d'amener l'étudiant à faire une réflexion sur le système chimique qu'il est entrain de manipuler, de construire son savoir à partir des questions guidées qui lui ont été posées. A partir de là que notre intervention a commencé dans la modification des différentes questions de réflexion.

Cependant, si nous prenons un exemple de comparaison de l'ancien texte TP03 et du nouveau texte du TP2, nous espérons montrer à partir des questions de réflexion modifiées que l'étudiant est entrain d'apprendre une théorie ou un modèle et aussi d'apprendre comment utiliser des données pour appuyer une conclusion.

Nous présentons en premier lieu, les questions de l'ancienne version portant sur le dosage de l'acide sulfurique :

- Ecrire l'équation de la réaction de dosage.
- Calculer :
 - Le nombre de moles d'ions OH⁻ ajoutées,
 - Le nombre de moles d'ions H₃O⁺ dosés dans les V₀ mL de départ,
 - Le nombre de moles de H₂SO₄ dans les V₀mL de départ,
 - La concentration molaire en H₂SO₄ (C_a)
 - Le titre massique en H₂SO₄
- D'après les expériences précédentes, montrer que l'acide sulfurique se comporte ici comme un monoacide.

Dans la nouvelle version du TP2, nous conduisons l'apprenant, par la manière de poser les questions, à apprendre comment raisonner lors de la résolution de la tâche et utiliser les données pour appuyer une conclusion.

- Combien de saut(s) de pH observe-t-on expérimentalement ? 1.
- Déduire, à partir du volume d'équivalence, la quantité d'ions HO^- nécessaires pour la 2. neutralisation de l'acide.
- Quelle est l'équation du dosage ? 3.
- En déduire la quantité de matière d'ions H^+ qui a été dosée ? Comparer cette 4. quantité à celle de H_2SO_4 dans 10mL.
- Que peut-on en déduire concernant le comportement de l'acide sulfurique H_2SO_4 en 5. solution aqueuse ?

Dans le cas du dosage de l'acide sulfurique, l'objectif d'apprentissage que nous avons fixé lors de la construction de ce dosage, était de déterminer le comportement de cet acide en solution aqueuse. Pour aboutir à la finalité de cet objectif, nous avons procédé de la manière suivante : à partir de l'observation de la courbe du dosage, l'étudiant peut dégager une constatation que la courbe présente un seul saut de pH, puis à partir du volume d'équivalence, il va déterminer la quantité d'ions HO^- nécessaires pour la neutralisation de l'acide. Pour déterminer la quantité de matière d'ions H^+ qui a été dosée, l'étudiant va avoir besoin de la réaction du dosage qui va l'aider à la détermination de cette quantité à partir de celle des ions HO^- . Cet exemple illustre bien la relation entre le monde perceptible et le monde reconstruit que nous cherchons à la faire établir par l'apprenant.

Ceci montre les deux points de différence dégagés à partir de l'analyse entre les anciens textes et le nouveau texte de TP.

I.3.2. 2^{ème} dimension : Caractéristiques de la tâche

I.3.2.1. 1^{ère} sous dimension : Ce que les élèves sont censés faire avec les Objets et les Observables

La deuxième dimension (Tab. 56) de la carte traite des caractéristiques de la tâche et se divise en cinq sous dimension.

La première sous dimension traite de ce que les élèves sont censés faire avec les objets et les observables, nous constatons à partir du tableau 56, qu'il n'y a pas de différence entre les anciens textes et le nouveau texte de TP puisque ça traite de la partie manipulation qui est presque identique pour ces deux TP.

Tableau 56 : Résultat de la 1^{ère} sous dimension

| B.1.1 Ce que les élèves sont censés faire avec les objets et les observables | | |
|---|-------------|------------|
| | TP03 | TP2 |
| 1 | X | X |
| 2 | X | X |
| 3 | X | X |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 10 | X | X |
| 11 | X | X |

Légende :

| | | |
|--|--|---|
| 1 : Utiliser un appareil d'observation ou de mesure | 2 : Utiliser un appareil de laboratoire ou un montage | 3 : Utiliser un protocole expérimental |
| 4 : Présenter un objet | | |
| 5 : Faire un objet | | |
| 6 : Faire un matériau | | |
| 7 : Faire un événement qui se produit | | |
| 8 : Observer un objet | | |
| 9 : Observer un matériau | | |
| 10 : Observer un événement | | |
| 11 : Observer une quantité | | |

I.3.2.2. 2^{ème} sous dimension : Ce que les élèves sont censés faire avec les Idées

En revanche, la différence réside dans la 2^{ème} sous dimension (Tab.57) lorsque nous analysons les 2 textes du TP du point de vue ce que les élèves sont censés faire avec les idées. Cette différence se situe au niveau de la notation des observations, de tester une prédiction à partir d'une théorie ou un modèle et au niveau des observations en les expliquant avec des termes d'une théorie ou d'un modèle.

Dans le nouveau texte de TP, nous avons procédé au début des questions relatives au dosage de la solution d'acide phosphorique, par l'observation de la courbe du dosage et la détermination des coordonnées de chaque point d'équivalence. Ce type de question n'est pas présent dans l'ancienne version.

Par ailleurs, lorsque nous avons demandé aux étudiants si leur interprétation leur permettait de confirmer s'ils ont ajouté suffisamment de soude avant d'arrêter les mesures, cette question leur permet de tester leur prédiction à partir du système chimique présent, en plus elle favorise le lien entre monde perceptible et monde reconstruit.

La 3^{ème} question relative au dosage d'une solution d'acide phosphorique permet de rendre compte des observations en les expliquant avec les termes d'une théorie : *sachant*

que l'acide phosphorique H_3PO_4 est un triacide, interpréter ce qui vient d'être remarqué à propos des différents volumes d'équivalence. On pourra faire différentes hypothèses sur la force des différentes acidités de l'acide phosphorique et voir si ces hypothèses sont confirmées ou infirmées par l'expérience réalisée.

Tableau 57 : Résultat de la 2^{ème} sous dimension

| B1.2 Ce que les élèves sont censés faire avec les idées | | |
|---|------|-----|
| | TP03 | TP2 |
| 1 | | X |
| 2 | X | X |
| 3 | X | X |
| 4 | X | X |
| 5 | X | X |
| 6 | | |
| 7 | X | X |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 10 | | X |
| 11 | | |
| 12 | | X |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | |

Légende :

| |
|---|
| 1 : Noter des observations |
| 2 : Identifier une régularité |
| 3 : Etudier la relation entre des objets 4 : Etudier la relation entre des quantités physiques (variables) 5 : Etudier la relation entre des objets et des quantités physiques |
| 6 : Inventer (ou découvrir) un nouveau concept (une quantité physique ou une entité) |
| 7 : Déterminer la valeur d'une quantité qui n'est pas mesurée directement |
| 8 : Tester une prédiction à partir d'un essai 9 : Tester une prédiction à partir d'une loi 10 : Tester une prédiction à partir d'une théorie (ou un modèle basé sur le cadre théorique) |
| 11 : Rendre compte des observations en termes d'une loi donnée 12 : Rendre compte des observations en termes d'une théorie donnée (ou modèle) 13 : Rendre compte des observations proposition d'une loi 14 : Rendre compte des observations proposition d'une théorie (ou modèle) |
| 15 : Choisir entre deux (ou plusieurs) explications données |

I.3.2.3. 3^{ème} sous dimension : Tâche gouvernée par les Observations ou par les Idées ?

La troisième sous dimension (Tab. 58), s'intéresse à la tâche qui peut être gouvernée soit par les observations soit par les idées. A partir de ce tableau, nous remarquons que dans l'ancien texte, il n'y a pas de relation claire entre ce que les élèves sont censés faire avec les idées et ce qu'ils sont censés faire avec les objets par contre dans le nouveau texte de TP, ce que les élèves sont censés faire avec les idées découle de ce qu'ils sont censés faire avec les objets et vis versa.

Pour montrer la différence entre les deux textes de TP, nous prenons comme exemple les questions relatives au dosage de l'acide phosphorique :

Dans l'ancienne version, les questions proposées aux étudiants ne leurs montrent pas la relation qui existe entre ce que leur demande l'enseignant de faire comme calcul et ce qui découle de ces calculs :

Lorsqu'on a dosé la première acidité, on a titré le tiers des moles d'ions H_3O^+ libérables par la solution, lorsque l'on a dosé les deux premières acidités on a titré les deux tiers des moles d'ions H_3O^+ libérables par la solution.

- Ecrire les équations des réactions qui ont lieu lors du dosage.
- Soient C_a et C_b les concentrations molaires de l'acide phosphorique et de la soude. Soit V_1 le volume de soude nécessaire à la neutralisation de la première acidité et V_2 celui correspondant à la neutralisation des deux premières acidités.
 - Exprimer dans les deux cas le nombre de moles de H_3O^+ dosés en fonction de V_1 ou V_2 .
 - Calculer dans les deux cas la concentration molaire de la solution en H_3PO_4 (C_a).
 - Calculer le titre massique (P = 31 ; O = 16).

A la fin de ses calculs, l'étudiant n'est pas en mesure de déduire le comportement de l'acide phosphorique en solution aqueuse puisque le milieu n'est pas rétroactif dans le cas de cette situation.

Par contre, dans la nouvelle version, il y a une relation réversible entre les idées et les objets.

- | | |
|--|----|
| Combien de sauts de pH apparaissent-ils ? | 1. |
| Déterminer les coordonnées de chaque point d'équivalence (Volume et pH). Que remarque-t-on à propos des différents volumes d'équivalences ? | 2. |
| Sachant que l'acide phosphorique H_3PO_4 est un triacide, interpréter ce qui vient d'être remarqué à propos des différents volumes d'équivalence. On pourra faire différentes hypothèses sur la force des différentes acidités de l'acide phosphorique et voir si ces hypothèses sont confirmées ou infirmées par l'expérience réalisée. | 3. |

Votre interprétation vous permet-elle de confirmer que vous avez ajouté suffisamment⁴ de soude avant d'arrêter les mesures ?

Le milieu que nous avons organisé pour cette tâche est rétroactif, c'est-à-dire que lorsque l'étudiant fournit une réponse le milieu organisé doit lui donner une indication quant à la véracité de sa réponse. (BROUSSEAU, 1986)

Lors de la construction de chaque TP, nous avons pris en considération les objectifs d'apprentissage relatifs à chaque dosage pour qu'il y ait enseignement et apprentissage à la fois : « (...) *l'enseignement est la dévolution à l'élève d'une situation adidactique, correcte, l'apprentissage est une adaptation à cette situation* » (BROUSSEAU, p.60, 1998).

Tableau 58 : Résultat de la 3^{ème} sous dimension

| B.1.3 Tache gouvernée par les observations ou par les idées? | | |
|--|------|-----|
| | TP03 | TP2 |
| 1 | | X |
| 2 | | X |
| 3 | X | |

Légende :

| |
|---|
| 1 : Ce que les élèves sont censés faire avec les idées découle de ce qu'ils sont censés faire avec les objets ? |
| 2 : Ce que les élèves sont censés faire avec les objets découle de ce qu'ils sont censés faire avec les idées ? |
| 3 : Il n'y a pas de relation claire entre ce que les élèves sont censés faire avec les idées et ce qu'ils sont censés faire avec les objets |

I.3.2.4. 4^{ème} sous dimension : Degré d'ouverture ou de fermeture

Le tableau 59 traite de la 4^{ème} sous dimension qui présente des critères pour évaluer l'aspect de la tâche du TP et à qui revient l'initiative dans les différents aspects, soit imposée par l'enseignant, soit décidée par une discussion entre enseignant et élèves ou bien choisi par l'élève lui-même. A partir des analyses, nous constatons que pour le nouveau TP le mode opératoire à suivre est à la charge de l'étudiant, alors que dans l'ancienne version, le mode opératoire est imposé par l'enseignant.

Nous présentons comme exemple pour montrer cette différence, la question traitée dans le dosage d'un mélange d'acides, dans la nouvelle version du TP : *En déduire une méthode pour doser, par volumétrie, un mélange formé d'acide sulfurique et d'acide phosphorique en solution aqueuse*. L'objectif de cette question est de ne pas être dans la logique présentée par DUMON & SOUSSI (1986) : « *Beaucoup d'expériences sont présentées comme des recettes de cuisine, ce qui n'entraîne pas l'étudiant à réfléchir et ce qui ne contribue pas à le motiver pour le laboratoire* ».

Tableau 59 : Résultat de la 4^{ème} sous dimension

| B1.4 Degré d'ouverture ou de fermeture | | |
|---|-------------|------------|
| | TP03 | TP2 |
| 1 | a | a |
| 2 | a | a |
| 3 | a | c |
| 4 | a | a |
| 5 | c | c |

Légende :

| |
|--|
| 1 : La question à résoudre |
| 2 : L'équipement à utiliser |
| 3 : Le mode opératoire à suivre |
| 4 : Les méthodes de traitement des données recueillies |
| 5 : L'interprétation des résultats |
| a : Imposée par l'enseignant |
| b : Décidée par une discussion entre enseignant et élèves |
| c : Choisi par l'élève |

1.3.2.5. 5^{ème} sous dimension : Nature de l'implication de l'élève

Concernant la nature de l'implication de la tâche (Tab. 60), cette sous dimension ne donne pas une information originale lorsque nous analysons les textes de TP. Les étudiants sont supposés travailler généralement en des petits groupes et l'expérience réalisée par l'enseignant est à exclure.

Tableau 60: Résultat de la 5^{ème} dimension

| B.1.5 Nature de l'implication de l'élève | | |
|---|-------------|------------|
| | TP03 | TP2 |
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | X | X |
| 4 | | |

Légende :

| |
|--|
| 1 : Expérience réalisée par l'enseignant, l'élève observe |
| 2 : Expérience réalisée par l'enseignant, l'élève observe et participe sous la direction de l'enseignant (par exemple en faisant des observations ou des mesures) |
| 3 : Expérience menée par les élèves en des petits groupes |
| 4 : Expérience menée par chaque élève seul |

I.3.3. 3^{ème} dimension : Contexte de la tâche

La troisième dimension de la carte d'analyse décrit quelques caractères importants du contexte de la tâche lors de son exécution telles que la durée, les personnes avec qui l'élève interagit, les sources d'information disponibles pour l'apprenant et le types d'appareils utilisés. Nous tenons à préciser, que nous allons passer brièvement pour cette dimension étant donné qu'elle n'apporte pas des informations nécessaires pour notre recherche.

I.3.3.1. 1^{ère} sous dimension : Durée de la tâche

La durée de la tâche (Tab. 61) dépend du choix de l'institution et du département dans la gestion des horaires, à savoir que les anciens TP ont été programmés pour quatre heures et les nouveaux pour trois heures.

Tableau 61 : Résultat de la 1^{ère} sous dimension

| B.2.1 Durée | | |
|-------------|------|-----|
| | TP03 | TP2 |
| 1 | | |
| 2 | X | X |
| 3 | | |
| 4 | | |

Légende :

| |
|---|
| 1 : Très courte (20 minutes) |
| 2 : Courte (une séance jusqu'à 80 minutes) |
| 3 : Moyenne (2-3 leçons) |
| 4 : Longue (2 semaines ou plus) |

I.3.3.2. 2^{ème} sous dimension : Personnes avec qui l'élève interagit

Généralement, au niveau supérieur, les étudiants interagissent soit avec les autres élèves réalisant la même tâche de TP, soit avec l'enseignant. Cette sous dimension (Tab. 62) est identique que ce soit pour les anciens TP soit pour les nouveaux.

Tableau 62 : Résultat de la 2^{ème} sous dimension

| B.2.2 Personnes avec qui l'élève interagit | | |
|---|-------------|------------|
| | TP03 | TP2 |
| 1 | X | X |
| 2 | | |
| 3 | X | X |
| 4 | | |
| 5 | | |

Légende :

| |
|--|
| 1 : Autres élèves réalisant la même tâche de TP |
| 2 : Autres élèves qui ont déjà fait cette tâche |
| 3 : Enseignant |
| 4 : Elèves plus avancés |
| 5 : Autres (techniciens, ...) |

I.3.3.3. 3^{ème} sous dimension : Sources d'informations disponibles pour l'élève

A l'université, l'étudiant est en possession de plusieurs sources d'information mis à part la feuille de TP telles que les livres, les notices d'appareils, les bases de données informatisées, etc..

Dans la plupart des cas, la feuille de TP est donnée à l'étudiant à l'avance, ce qui lui laisse le temps pour la lire et d'avoir une idée sur ce que nous lui demandons de faire avant de l'entreprendre.

Le tableau ci-dessous (Tab. 63) traite des moyens d'informations qui sont mis à la disposition de l'élève pendant une séance de TP.

Tableau 63 : Résultat de la 3^{ème} sous dimension

| B.2.3 Sources d'information disponibles pour l'élève | | |
|---|-------------|------------|
| | TP03 | TP2 |
| 1 | X | X |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |

Légende :

| |
|--|
| 1 : Feuille de TP |
| 2 : Livres |
| 3 : Notices (des appareils), livre de données, ... |
| 4 : Base de données informatisées |
| 5 : Autres |

I.3.3.4. 4^{ème} sous dimension : Types d'appareils utilisés

La dernière sous dimension (Tab. 64) montre que l'équipement de laboratoire standard est le plus commun des matériels utilisés.

Tableau 64 : Résultat de la 4^{ème} sous dimension

| B.2.4 Type d'appareils utilisés | | |
|---------------------------------|------|-----|
| | TP03 | TP2 |
| 1 | X | X |
| 2 | | |
| 3 | | |

Légende :

| |
|---|
| 1 : Equipement de laboratoire standard |
| 2 : Equipement de laboratoire standard interfacé à un ordinateur |
| 3 : Equipement de la vie quotidienne (balance de cuisine, matériaux ou équipements domestiques) |

A partir de l'analyse des deux textes de TP (TP03 et TP2) par l'intermédiaire de la carte, nous pouvons conclure que les anciens textes de TP n'explicitent pas clairement les objectifs d'apprentissage pour chaque tâche, ne montrent pas ce que les étudiants sont censés faire avec les idées et ne présentent pas une relation claire entre ce que les étudiants sont censés faire avec les idées et ce qu'ils sont censés faire avec les objets. En d'autres termes, les anciens textes de TP n'aident pas les étudiants à établir des liens entre les différents niveaux de connaissances tels que le niveau des théories/modèles et le monde reconstruit.

Il est possible de dégager à partir de l'analyse par le biais de la carte, une image de ce que devrait être un texte de travaux pratiques : les activités proposées aux étudiants devraient être en accord avec les objectifs d'apprentissage et devraient contribuer de façon importante au développement cognitif des étudiants.

II. Connaissances en jeu dans le TP2

Cette partie illustre les objectifs d'apprentissage que nous avons visé lors de la construction de ce TP, ainsi que les connaissances mises en jeu pour un dosage de polyacide.

II.1. Objectifs d'apprentissage

Notre principal objectif d'apprentissage dans ce TP est à la base des objectifs visés dans les TP SOC et du projet « Labwork in Science Education ». De ce fait, nous voulons aider les étudiants à mettre en relation la théorie et les objets et événements reconstruits.

En d'autres termes, le TP2 a pour objectif de faire prendre conscience aux étudiants, après examen des données et des résultats expérimentaux de la nécessité de la mise en évidence de la réaction acido-basique lors d'un ensemble de dosages différents telles que le dosage d'un diacide, d'un polyacide et d'un mélange d'acides. Il s'agit également de les amener à déduire le comportement de ces différents acides en solution aqueuse en se basant sur un raisonnement utilisant des objets (les différentes entités chimiques en solution) et des événements reconstruits (les réactions acido-basiques relatives à chaque dosage).

II.2. Connaissances mises en jeu

Ce TP ne se situe pas entièrement dans une perspective classique d'enseignement. Il s'agit d'une rénovation de l'enseignement expérimental, qui consiste en une mise au point de manipulations et de questions de réflexions plus ou moins originales et inhabituelles pour les étudiants

De la même manière que le TP1, les activités demandées aux étudiants dans ce TP sont de deux ordres:

- Expérimentales puisqu'il s'agit en premier lieu de conduire correctement l'expérience en suivant les consignes écrites dans le texte par le chercheur ;
- Conceptuelles puisque nous visons à ce que les étudiants construisent le concept de réaction acido-basique introduite dans la plupart des questions.

Dans ce 2^{ème} TP, l'étudiant est amené tout d'abord à réaliser plusieurs types de dosage entre un diacide, polyacide, un mélange d'acides et une base forte. Dans chaque partie du TP, le raisonnement de l'étudiant doit se baser essentiellement sur la réaction chimique relative à chaque type de dosage en tenant compte des propriétés de chaque acide. Avec les termes de notre cadre théorique, l'étudiant doit repérer un événement reconstruit (réaction acido-basique) à toute une classe de situations, puis de faire des liens entre les objets reconstruits, des propriétés reconstruites et des grandeurs mesurables, qui sont les mêmes modalités d'activité dans tout le TP.

III. Résultats concernant la comparaison des productions écrites

L'objectif de cette partie est de faire une comparaison entre l'ancienne version du TP2 et celle de la nouvelle version.

Nous allons procéder par une comparaison entre les réponses des binômes aux même questions appartenant à chacune des deux versions. Cette comparaison va permettre de dégager les réponses aux questions de recherches suivantes :

- Est-ce que l'ancienne version du TP2 fait ressortir les difficultés des étudiants vis-à-vis des dosages de polyacides par une base forte?
- Quelles sont les difficultés qui ressortent de la nouvelle version du TP2 ?

Ensuite, nous allons donner une validation interne du nouveau TP par le biais des résultats des transcriptions de l'étude de cas. Il s'agit dans cette dernière partie de, spécifier certaines caractéristiques de l'activité d'un binôme enregistré à partir de l'analyse des transcriptions de dialogues lors de la de la réalisation du TP2.

Cette analyse, en comparaison avec l'analyse *a priori*, fournit les premiers éléments de réponses aux questions suivantes:

- Quelles sont les connaissances prises en compte par le binôme ? y-a-t-il eu dévolution ?
- Comment ces connaissances sont-elles mises en œuvre ?
- Est-ce que les relations établies par le binôme, entre les informations appartenant aux différents niveaux de connaissances, favorisent l'apprentissage et la construction du sens du concept de réaction acido-basique lors de la réalisation d'une tâche ?

Etant donnée que les questions figurant dans la nouvelle version, ne sont pas toutes les même dans l'ancienne version, nous avons optés lors de notre analyse des résultats de traiter, en premier lieu les questions identiques dans les deux versions du TP, puis de traiter les questions appartenant à la nouvelle version du TP2 qui semblent importantes et pertinentes pour notre recherche.

III.1. Résultats de la 1^{ère} question

Cette question existe dans les deux versions du 1^{er} TP (relative au dosage de la solution d'acide sulfurique par la soude), elle est posée au début du travail de réflexion de l'ancienne version par contre dans la nouvelle version du TP2, elle se situe au niveau d'ordre 3 par rapport à l'ordre chronologique des autres questions.

La question adressée aux étudiants était la suivante, dans l'ancienne version :

Ecrire l'équation de la réaction du dosage.

Alors que dans la nouvelle version, elle se présente comme suit :

Quelle est l'équation du dosage ?

Etant donné que ces deux questions sont identiques, nous les considérons comme une seule question. Cette dernière sera analysée à partir de la production écrite de 40 binômes pour les deux versions et suivant la même grille d'analyse.

III.1.1. Ancienne version (TP03) et nouvelle version (TP2)

Dans cette question, nous avons classé les réponses des 40 binômes selon le type de lien mobilisés par l'ensemble des binômes (Tab.65).

Tableau 65 : Répartitions des réponses écrites de l'ancienne version et de la nouvelle version du TP2 selon

vertu de la loi du droit d'auteur.

les niveaux de connaissances

| Types de liens entre les niveaux de connaissances | Nombre de copies TP03 | Nombre de copies TP2 |
|---|-----------------------|----------------------|
| [o ; é] | 40 (100 %) | 30 (75 %) |
| [p ; é] [o ; é] | 0 (0 %) | 7 (17,5 %) |
| [o ; é] [o ; p] | 0 (0 %) | 1 (2,5 %) |
| [o ; é] [o ; p] [é ; p] | 0 (0 %) | 2 (5%) |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

D'après ce tableau, nous constatons que les étudiants de l'ancienne version du TP se limitent à faire uniquement le lien entre les entités chimiques (objets reconstruits) et l'équation chimique qui les relie (événement reconstruit), alors que 10 étudiants du nouveau TP mettent en jeu en plus du niveau de la propriété reconstruite.

Pour les 40 binômes de l'ancienne version, la réponse à cette question peut être de deux types :

- Soit, les étudiants écrivent les équations des réactions de dissociation,

Copie 11 (TP03) : $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+$ $\text{NaOH} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{OH}^-$

- Soit, ils écrivent l'équation-bilan,

Copie 1 (TP03) : $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+$ $\text{NaOH} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{OH}^-$

$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NaOH} \rightleftharpoons (\text{HSO}_4^- + \text{Na}^+) + \text{H}_2\text{O}$

Pour ces étudiants assimilent l'équation de la réaction du dosage à l'équation bilan, nous retrouvons le même résultat que celui du chapitre précédent.

Par contre, dans la nouvelle version, les étudiants mobilisent en plus trois autres types de liens par rapport à l'ancienne version :

- Soit, ils correspondent à chaque acidité une équation de réaction ([p ; é] ; [o ; é])

Copie 7 (TP2) : Equation de la réaction du dosage :

1ère acidité : $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{HSO}_4^- + \text{H}_2\text{O}$

2ème acidité : $\text{HSO}_4^- + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ Bilan : $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$

- Soit, ils correspondent à chaque entité chimique une propriété ([o ; é] ; [o ; p])

Copie 9 (TP2) : $\text{NaOH} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{OH}^-$ $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$

On sait que Na^+ ne participe pas avec sa solution car c'est une ion inerte donc



- Ou bien, soit les deux à la fois ([o ; é] ; [o ; p] ; [é ; p])

Copie 31 (TP2) : Les équations de la réaction :

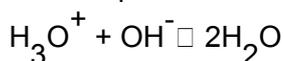


$\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$ La réaction d'un acide fort (H_2SO_4) par une base forte NaOH donne la réaction du dosage de l'ionisation de l'eau H_2O

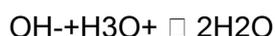


Bilan de ses réactions nous donne : $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + 2\text{Na}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$

Pour la nouvelle version du TP2, 8 binômes (20%) fournissent la réponse attendue relative à l'équation de la réaction du dosage selon le point de vue du savoir savant :



Cette réponse est fournie par un passage automatique par les équations des réactions de dissociation puis l'équation bilan :



Equation bilan : $2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{Na}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$

Par contre, pour l'ancienne version du TP2, aucun binôme ne fournit une réponse favorable selon le savoir savant.

III.1.2. Résultats concernant les productions verbales

Dans cette partie, nous allons valider les résultats trouvés dans les deux versions du TP2, par une étude sur la production verbale du binôme enregistré. L'analyse de la transcription va permettre de nous représenter l'activité cognitive du binôme lors de la résolution des tâches.

Dans notre analyse des données de la transcription, nous allons prendre aussi en considération les différents types de relations, c'est-à-dire que la mise en relation peut être interne à un niveau de connaissance ou entre niveaux différents dans ce cas nous l'appelons relation externe. Ce type d'analyse nous permet de déterminer la démarche de la construction des connaissances du binôme.

A partir des transcriptions des dialogues du binôme enregistré lors de la réalisation du TP2, nous avons regroupé dans un tableau les grandes phases de résolution des différentes tâches qui vont nous permettre de mieux lire les transcriptions.

Tableau 66 : Récapitulatif sur les différentes phases de l'activité du binôme telle que nous les trouvons dans la transcription

Apprentissage des réactions acido-basiques : Mise en évidence et remédiation des difficultés des étudiants lors d'une séquence d'enseignement expérimental

| Numéros d'interventions | Caractéristiques des différentes phases | Questions traitées |
|---|---|-------------------------|
| 1 – 6 7 - 8 9 - 28 | Lecture du texte correspondant au 1 ^{er} dosage Réalisation de l'expérience Traçage de la courbe Détermination du point d'équivalence à partir de la courbe du dosage | 1 ^{er} dosage |
| 29 – 35 | Lecture et réponse à la question 1 | Question 1 |
| 36 – 39 40 – 47 48 – 49 50 – 61 | Lecture de la question 2 Ecriture de la relation au point d'équivalence permettant de calculer la quantité d'ions OH ⁻ Détermination du volume d'équivalence à partir de la courbe Application numérique | Question 2 |
| 62 – 69 70 – 101 102 – 132 | Lecture de la question 3 Ecriture de la demi-équation relative à NaOH Ecriture de la demi-équation relative à H ₂ SO ₄ Ecriture de l'équation bilan du dosage | Question 3 |
| 133 – 135 136 – 162 | Lecture de la question 4 Ecriture des relations qui permettent de déterminer la quantité de matière de H ⁺ | Question 4 |
| 163 – 176 | Lecture de la question 5 Réponse à la question | Question 5 |
| 177 – 178 179 - 226 | Lecture de la question 1 Description du dosage volumétrique | Question 1 |
| 227 – 233 234 – 250 251 – 259 260 – 278 279 - 299 | Lecture de la question 2 Réalisation de l'expérience Détermination de la quantité d'ions H ₃ O ⁺ Application numérique Détermination de la quantité de matière d'acide sulfurique Application numérique Détermination de la concentration molaire en acide sulfurique Application numérique | Question 2 |
| 300 – 311 | Réalisation de l'expérience Traçage de la courbe | 2 ^{ème} dosage |
| 312 – 315 | Description de la courbe | |
| 316 – 335 | Lecture de la question 2 Réponse à la question | Question 2 |
| 336 – 338 339 – 342 343– 351 352 – 359 360 - 363 | Lecture de la question 3 Description de la courbe Ecriture de la relation au 1 ^{er} point d'équivalence Ecriture de la relation au 2 ^{ème} point d'équivalence Réponse à la question | Question 3 |
| 365 – 368 | Lecture de la question 4 Réponse à la question | Question 4 |
| 369 – 372 | Lecture de la question 5 Réflexion sur cette question | Question 5 |
| 373 – 400 | Réalisation de l'expérience Traçage de la courbe | 3 ^{ème} dosage |
| 401 - 410 | Description de la courbe Réponse à la question 1 | Question 1 |
| 411 – 413 414 – | Lecture de la question 2 Réflexion à la question | Question 2 |

| | | | | |
|-----------|-----------|-----|---|------------|
| 434 - 480 | 435 – 452 | 453 | 2 Détermination des points d'équivalence à partir de la courbe Réflexion sur cette question Ecriture des équations | |
| 481 - 484 | | | Lecture de la question 3 Réponse à la question | Question 3 |

Dans l'analyse de chacune des questions, nous allons compter pour chaque intervention les propositions qui mettent en jeu soit un seul niveau de connaissance, soit un niveau au sein duquel il n'y a que des relations internes, soit les relations entre les niveaux (relation externe).

Nous récapitulerons, par la suite, sous forme de tableau la comparaison entre l'analyse *a priori* et celle de l'activité du binôme.

Dans sa réponse à la 1^{ère} question, le binôme enregistré utilise le niveau événement du monde reconstruit qui est parfois en relation avec le niveau objet du même monde. La réaction chimique est mise en jeu par sa représentation symbolique qui est l'équation chimique.

Pour répondre à cette question, l'étudiant mobilise (Tab. 67) soit des liens interne au monde reconstruit, soit des liens externes au monde soit, il mobilise des niveaux sans relations.

Le tableau ci-dessous illustre la fréquence de l'utilisation de chacun des niveaux de savoirs et le type de relation existant entre eux.

Tableau 67 : Niveaux de connaissances et types de liens mis en oeuvre dans la transcription

| Sans relation [é] [o] [t] | | | Relation interne [o ; é] | Relation externe [O ; o] [o ; t] | |
|---------------------------|---|---|--------------------------|----------------------------------|---|
| 2 | 4 | 2 | 9 | 2 | 2 |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[t] : théorie

[O] : objet perceptible

Ce tableau (Tab.67) montre que les niveaux événement reconstruit, objet reconstruit et le niveau de la théorie sont les plus utilisés dans la production verbale de ce binôme en tant que niveau sans relation. De même, la mise en relation la plus souvent utilisé par ce binôme est de type interne puisqu'elle se fait d'une manière fréquente entre l'événement et l'objet du monde reconstruit.

Nous constatons, d'après ce tableau, qu'écrire l'équation de la réaction du dosage nécessite la mise en oeuvre du lien entre l'événement reconstruit et les objets reconstruits.

Nous remarquons que le binôme utilise le niveau de la théorie dans ses réflexions, pour pouvoir équilibrer les équations chimiques. Le niveau de la théorie se manifeste dans l'activité cognitive de l'étudiant sous le principe d'électroneutralité.

Nader- 99 : 2 moins aanna (on a) 2 moins 2 plus aanna S S 2O 2O (... ?)

Ce binôme compter le nombre de charges négatives (2 moins) et le nombre des charges positives (2 plus) pour équilibrer les charges dans les équations chimiques.

A partir de la transcription, nous dégageons les conclusions suivantes :

- L'équation de la réaction du dosage ($H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$) est confondue à l'équation-bilan ($2NaOH + H_2SO_4 \rightarrow 2H_2O + Na_2SO_4$)

Nader-63 : On a déjà deux équations bilans de (::) + (... ?)

Taoufik-64 : Deux demi équations ?/

Nader-65 : Oui deux demi (::)

- La réponse à la question est considérée comme fausse

Nader-133 : H₂SO₄ plus NaOH plus 2H⁺ taatina (nous donne) / OH⁻ plus SO₂⁻ plus 2H₂O méfamma hatta ralta fil équation (il n'y a aucune faute dans l'équation) (... ?) ça va

Bien que ce binôme a utilisé le niveau de l'événement reconstruit dans ses réflexions, sa réponse demeure incorrecte puisqu'il présente des difficultés dans l'écriture de l'équation de la réaction du dosage. Cette difficulté est due au fait que le binôme n'arrive pas à identifier les entités chimiques présentes dans la solution.

Nous présentons dans le tableau (Tab.68) qui suit, une comparaison entre les niveaux de connaissances mis en jeu dans l'analyse *a priori*, pour avoir une réponse favorable du point de vue du savoir savant et l'activité réelle du binôme enregistré :

Tableau 68 : Comparaison entre l'analyse *a priori* et l'activité du binôme

| Analyse <i>a priori</i> | Activité du binôme |
|-------------------------|----------------------|
| [O ; o] [o ; é] [é ; p] | [O ; o] [o ;é] [o;t] |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[t] : théorie

[O] : objet perceptible

A partir de ce tableau, nous constatons que seul le lien entre le niveau de la théorie et l'objet reconstruit n'existe pas dans l'analyse *a priori*. Ce niveau montre que le binôme commence à utiliser un fondement théorique dans ses raisonnements, qui n'est pas constaté dans l'analyse du 1^{er} TP. Nous pouvons dire qu'il y a évolution dans les réflexions de ce binôme.

III.1.3. Conclusion

A partir du tableau 46, nous constatons que pour les deux versions du TP2, la majorité des binômes (100 % et 75%) mobilisent le lien [o ; é], c'est-à-dire que les étudiants écrivent les entités chimiques présentes en solution reliée par l'équation chimique sans donner une propriété caractéristique de la réaction mise en jeu entre un diacide et une base forte. Par contre 10 binômes de la nouvelle version utilisent le niveau de la propriété reconstruite pour écrire l'équation de la réaction du dosage, la présence de ce lien dans les réponses des étudiants de la nouvelle version est due à la différence du contexte des deux tâches du TP (TP03 et TP2).

Toutefois, dans les deux versions du TP2, nous constatons le passage systématique des étudiants par l'écriture de l'équation bilan, qui leur permet de déterminer le système réactionnel.

III.2. Résultats de la 2^{ème} question

Cette question existe de deux manières différentes dans les deux versions du TP2. De même, cette question figure dans le dosage de la solution d'acide sulfurique par la soude.

Dans l'ancienne version, elle est posée de la façon suivante :

Calculer le nombre de moles d'ions OH^- ajoutées.

Par contre, dans la nouvelle version, la manière avec laquelle est posée cette question incite l'étudiant à suivre une étape de réflexion bien déterminée.

Déduire, à partir du volume d'équivalence, la quantité d'ions HO^- nécessaires pour la neutralisation de l'acide.

Tenant compte de la différence de la formulation de la question (dans la nouvelle version, nous précisons que la quantité d'ions HO^- est nécessaire pour la neutralisation de l'acide), nous supposons que l'activité cognitive des binômes sera différente pour les deux versions, et le type de liens mobilisés sera beaucoup plus riche dans la nouvelle version du TP2.

III.2.1. Ancienne version (TP03) et nouvelle version (TP2)

Nous avons codé les réponses des 40 binômes suivant la grille d'analyse décrite dans le cadre théorique. Le tableau ci-dessous (Tab.69), illustre les différents types de liens utilisés par les binômes dans leur réponse.

Tableau 69 : Répartition des réponses écrites de l'ancienne version et de la nouvelle version du TP2 selon les niveaux de connaissances

Apprentissage des réactions acido-basiques : Mise en évidence et remédiation des difficultés des étudiants lors d'une séquence d'enseignement expérimental

| Types de liens entre les niveaux de connaissances | Nombre de copies TP03 | Nombre de copies TP2 |
|---|-----------------------|----------------------|
| [é ; G] [G ; o] M.num | 2 (5%) | 9 (22,5%) |
| [G ; o] M.num | 20 (50%) | 3 (7,5%) |
| [é ; M.num] [G ; o] M.num | 0 (0%) | 3 (7,5%) |
| [é ; M.num] [é ;G] [G ;o] M.num | 0 (0%) | 2 (5%) |
| [é ; o] [é ;G] [G;o] M.num | 0 (0%) | 2 (5%) |
| [é ; o] [é ;G] [G;o] [G ;p] M.num | 0 (0%) | 2 (5%) |
| [é ; G] [G;o] [o ;p] M.num | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [G ; o] [o ;é] [M.géo;é] [é ;G] M.num | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [é ; M.num] [é ;o] [G ;o] M.num | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [é ; o] [é ;M.num] [o;p] [o ;G] M.num | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [é ; M.num] [o ;p] [é ;G] [G ;o] M.num | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [é ;o] [G ;o] M.num | 6 (15%) | 1 (2,5%) |
| [o ;p] [G ;o] M.num | 9 (22,5%) | 1 (2,5%) |
| [é ;G] M.num | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [é ; M.num] [é ;G] [G ;p] [p;o] M.num | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [M.géo;G] [é;G] [G;o] M.num | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [é ; M.num] M.num | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| Pas de réponse | 3 (7,5%) | 8 (20%) |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

[M.num] : modèle numérique

[M.géo] : modèle géométrique

Nous avons classé dans le tableau 69, les types de liens entre les niveaux de connaissances dans l'ordre d'apparition sur les copies. Nous constatons que 50% des étudiants de l'ancienne version utilisent uniquement les niveaux de grandeurs, des objets reconstruits et le modèle numérique dans leurs réponses, par contre les étudiants de la nouvelle version mobilisent en plus les niveaux de l'événement et de la propriété reconstruite.

Ce tableau montre la différence entre le type de réponses des binômes de l'ancienne version et ceux de la nouvelle. Ces derniers mobilisent 17 types de liens, mettant en jeu dans la majorité des cas (28 binômes) le niveau événement reconstruit (équivalence ou équation de la réaction du dosage) dans leurs démarches.

Copie 1 (TP2) : A partir du volume d'équivalence, la quantité des ions OH⁻, au point d'équivalence $2 \text{ CaVa} = \text{CBVéq}$ et on a d'après l'équation du dosage :

$$\text{nb}=2 \text{ CBVéq}=2\text{CaVa} \quad n[\text{NaOH}]=n[\text{OH}^-]$$

Copie 9 (TP2) : On a $NB=CB \text{ H}_2\text{SO}_4 = 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$

$NA=2CA \quad 2CAVA=CBVB \text{ éq} \quad CA=CBVB/2VA$ On a d'après la courbe le point d'équivalence a $\text{pH}=6,4$ $CB=CBVBE/VA+VBE$ $CB=[\text{Na}^+]=[\text{OH}^-]$ $n=CVBE$

Par contre, dans l'ancienne version, il y a uniquement 8 binômes qui utilisent le niveau de l'événement reconstruit dans leurs raisonnements.

Copie 5 (TP03) : à l'équivalence $n(\text{OH}^-)_{aj} = n(\text{H}^+)_0 = 2CaVa$ $CbVbE = 2CaVa$ donc

$$Ca = CbVbE/2Va$$

Copie 8 (TP03) : $\text{NaOH} \square \text{Na}^+ + \text{OH}^-$ donc $[\text{NaOH}] = [\text{Na}^+] = \text{OH}^-$

$$[\text{OH}^-] = n(\text{OH}^-)/V \text{ donc } n(\text{OH}^-) = [\text{OH}^-] Ve$$

La raison pour laquelle les étudiants de la nouvelle version mobilisent l'événement reconstruit dans leurs réponses est due au fait que, la formulation de la question dans le nouveau texte fait référence à ce niveau de connaissance du monde reconstruit (neutralisation).

Dans l'ancienne version du TP, l'étudiant ne se rend pas compte de l'utilité des calculs à faire puisque la question posée ne le montre pas, ce qui rend sa réponse très limitée au point de vue raisonnement. Ce problème ne se pose pas dans la nouvelle version, puisque la question que nous avons posé donne du sens aux calculs que l'étudiant va effectuer.

Cette question semble être relativement ouverte et offre plusieurs possibilités de réponses, ce qui explique la raison pour laquelle les étudiants n'utilisent pas uniquement les niveaux mis en œuvre explicitement dans la question.

III.2.2. Résultats concernant les productions verbales

Le tableau ci-dessous (Tab.70), montre les niveaux de connaissances mobilisés par le binôme pour répondre à la deuxième question.

Tableau 70 : Niveaux de connaissances et types de liens mis en œuvre dans la transcription

| Sans relation [M.num] [G] | | Relation externe [é ; M.num] [G ; M.num] [M.géo ; G] | | |
|---------------------------|---|--|---|---|
| 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[G] : grandeur

[M.géo] : modèle géométrique

[M.num] : modèle numérique

Ce tableau montre que les niveaux les plus fréquemment utilisés sont le niveau grandeur et le niveau du modèle numérique. Ces niveaux correspondent strictement à la consigne de la tâche et contribuent fortement à la résolution du problème.

Le niveau de l'événement reconstruit se réfère au point d'équivalence, il est dans la plus part des cas présents dans le raisonnement de l'apprenant.

Pour résoudre le problème, le binôme cherche à déterminer la concentration de la base au point d'équivalence, en appliquant la relation $C_A V_A = C_B V_{BE}$. Or dans le texte du TP, il est demandé de calculer la quantité d'ions OH^- nécessaires pour la neutralisation de l'acide, d'autant plus que la concentration de la base est donnée.

Nader-40 : Au point d'équivalence / on a / Ca fois Va égal Cb fois Vb

Nous constatons que ce binôme n'arrive pas à distinguer la grandeur concentration de la quantité d'ions, ce qui engendre une réponse fausse à la question.

Taoufik-62 : Litre on a VbE c'est égal 11,4 10⁻³ litre donc Cb c'est égal 0,05 fois 10⁻² sur 11,4 10⁻³/ 5 10⁻⁴ sur 11,4 10⁻³ / donc Cb c'est égal 0,043 molL⁻¹

Le tableau suivant (Tab.71), illustre la comparaison entre l'analyse *a priori* et celle de l'activité du binôme.

Tableau 71 : Comparaison entre l'analyse *a priori* et l'activité du binôme

| Analyse <i>a priori</i> | Activité du binôme |
|-------------------------|--|
| [é ; G] [G ; o] M.num | [é ; M.num] [G ; M.num] [M.géo ; G] M.num |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[G] : grandeur

[M.géo] : modèle géométrique

[M.num] : modèle numérique

Dans l'analyse *a priori*, le niveau de l'événement reconstruit (l'équivalence) doit être présent dans la démarche de l'apprenant.

Bien que nous ayons considéré, dans l'analyse *a priori*, des mises en relations minimales à fin de fournir une réponse acceptable du point de vue du savoir savant, le binôme enregistré ne parvient pas à fournir une réponse juste étant donné qu'il présente une difficulté à distinguer entre la concentration et la quantité d'ions.

III.2.3. Conclusion

Cette deuxième question, posée de manière différente dans les deux versions du TP2, montre que l'apprentissage des étudiants n'est pas le même dans les deux cas. Le tableau 50 montre, que les démarches suivies par les étudiants dans les deux versions du TP sont différentes. Les étudiants de la nouvelle version utilisent plus fréquemment les niveaux de connaissances du monde reconstruit que ceux de l'ancienne version. Nous avons constaté que les étudiants de l'ancienne version passent directement aux calculs (50%), alors que ceux de la nouvelle version présentent des réponses plus riches par le

détail de raisonnement tout en explicitant que le calcul résulte sur une réflexion du monde reconstruit.

Par contre, pour le binôme enregistré, nous remarquons qu'il n'y a pas eu de dévolution étant donnée que ce binôme présente une difficulté à distinguer entre la concentration et la quantité d'ions.

III.3. Résultats de la 3^{ème} question

Cette question fait partie du dosage de la solution d'acide sulfurique par une solution de soude.

Cette question est posée différemment dans les deux versions du 1^{er} TP. Dans l'ancienne version, elle est posée de la façon suivante :

Calculer le nombre de moles d'ions H_3O^+ dosés dans les V_0 mL de départ,

Calculer le nombre de moles de H_2SO_4 dans les V_0 mL de départ.

Par contre, dans la nouvelle version, cette question est présentée de la manière suivante :

En déduire la quantité de matière d'ions H^+ qui a été dosée ? Comparer cette quantité à celle de H_2SO_4 contenue dans 10mL.

Du point de vue du savoir savant, les questions de l'ancienne version et celle de la nouvelle version sont identiques, la différence réside uniquement au niveau de la formulation du texte de la question.

III.3.1. Ancienne version (TP03) et nouvelle version (TP2)

Les réponses des 40 binômes appartenant aux deux versions du 1^{er} TP sont regroupées dans le tableau ci-dessous (Tab.72). Ce dernier, illustre les différents types de liens utilisés par les binômes dans leur réponse à cette question.

Tableau 72 : Répartition des réponses écrites de l'ancienne version et de la nouvelle version du TP2 selon les niveaux de connaissances

| Types de liens entre les niveaux de connaissances | Nombre de copies TP03 | Nombre de copies TP2 |
|---|-----------------------|----------------------|
| [G ;o] M.num | 20 (50%) | 12 (30%) |
| [é ;G] [G ;o] M.num | 14 (35%) | 10 (25%) |
| [é; M.num] [G ;o] M.num | 0 (0%) | 3 (7,5%) |
| [é ;o] [G ;o] M.num | 0 (0%) | 3 (7,5%) |
| [é; M.num] [o ;p] [G ;o] M.num | 0 (0%) | 2 (5%) |
| [é; é] [G ;o] M.num | 0 (0%) | 2 (5%) |
| [é; M.num] [o ;p] M.num | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| [é ;o] M.num | 0 (0%) | 1 (2,5%) |
| Pas de réponse | 6 (15%) | 6 (15%) |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

[M.num] : modèle numérique

Nous constatons, d'après le tableau ci-dessus, que les deux premiers types de relations sont les plus fréquemment utilisés par les binômes appartenant aux deux versions du TP.

Dans la nouvelle version du TP, les binômes mobilisent 8 types de liens alors que dans l'ancienne version, ces derniers mettent en œuvre uniquement 2 types de relations entre les différents niveaux de connaissances.

Le tableau ci-dessus (Tab.72), indique que les binômes appartenant à la nouvelle version utilisent dans leur raisonnement le niveau événement reconstruit dans chaque type de liens, qui n'est pas toujours le cas pour l'ancienne version. Cette constatation montre qu'il y a une évolution au niveau de l'activité cognitive de l'apprenant, qui est due à l'influence des questions qui accompagnent l'expérience. Ceci répond à l'une de nos questions de recherches : « *Donner l'influence des questions qui accompagnent l'expérience sur l'apprentissage de l'apprenant ?* »

En réponse à cette question de recherche, nous avons constaté sur 21 binômes appartenant à l'ancienne version, ces derniers déterminent la concentration des ions H_3O^+ à partir du pH de départ, qui conduit à une réponse fautive, ceci provient de la manière dont la question est posée. Toutefois, la question posée aux étudiants était de calculer le nombre de moles d'ions H_3O^+ dosés dans les V_0 mL de départ, cette précision sur le volume de départ a poussé l'étudiant à déterminer la concentration des ions H_3O^+ à partir du pH de départ en utilisant la relation $[H_3O^+] = 10^{-pH}$.

Copie 1 (TP03) : pour V_0 de départ, on a $pH = 1,5$ or $[H_3O^+] = 10^{-pH}$ donc $n(H_3O^+) = V_0[H_3O^+]$

Par contre dans la nouvelle version du TP, la majorité des étudiants utilisent la réaction chimique ou l'état d'équivalence dans leur raisonnement tout en écrivant au début la relation $CAVA = CBVB$ et en calculant la concentration de l'acide avant de déterminer le nombre de moles des ions H_3O^+ .

Copie 20 (TP2) : $nH_2SO_4 = CV$ or on a $nH^+ = 2nH_2SO_4$ d'après l'équation bilan on a $NaOH : CbVbE : H_2SO_4 : Ca1Va1$ D'où $CbVbE = 2Ca1Va1$ $Ca1 = CbVbE/2Va1$

Copie 23 (TP2) : $NAVA = VBNB$ $2CAVA = CBVB$ $CA = CBVB/2VA$ $nH^+ = nOH - CAVA = CBVB$ $nH^+ = CBVB$ d'après l'équation $nH_2SO_4 = 1/2 nH^+$

Bien que la réponse à la question soit juste, les étudiants (16 binômes qui représentent 40% par rapport à la totalité) commencent tout le temps à déterminer le nombre de moles d'acides par le biais de la relation à l'équivalence avant de déterminer le nombre de moles des ions H_3O^+ . Cette réflexion peut être due à une conséquence de l'enseignement au lycée.

Tenant compte des résultats dressés dans le tableau ci-dessus, nous constatons la présence du niveau de l'événement reconstruit, faisant référence à l'équivalence ou à la réaction chimique, dans la majorité des réponses des étudiants appartenant à la nouvelle version du TP.

III.3.2. Résultats concernant les productions verbales

Les résultats concernant les niveaux de connaissances mis en œuvre par le binôme enregistré sont groupés dans le tableau suivant :

Tableau 73 : Niveaux de connaissances et types de liens mis en œuvre dans la transcription

| | | | | |
|---------------------------------------|---|--|---|---|
| Sans relation [é] [o] [t] [G] [M.num] | | | | |
| 1 | 1 | 3 | 1 | 1 |
| Relation interne [o ; p] [é ; o] | | Relation externe [G ; é] [E ; o] [o ; G] | | |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 3 |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

[t] : théorie

[E] : événement perceptible

[M.num] : modèle numérique

Le tableau ci-dessus montre que le binôme enregistré utilise fréquemment le niveau de la théorie sans aucune relation avec un autre niveau de connaissance :

Nader-147 : Neutralité on a / H⁺ concentration de H⁺ égale

Taoufik-152 : La loi d'électro(·)

Nader-161 : Kallèk (il t'a dit) / en déduire la quantité de matière d'ions H⁺ qui a été dosé + d'après / la conservation de la matière

Le niveau de la théorie est utilisé par ce binôme afin de lui permettre de déterminer la concentration des ions H₃O⁺, ce raisonnement s'avère être faux étant donné que nous avons demandé dans le texte de TP d'en déduire la quantité de matière d'ions H⁺ qui a été dosée puis celle de H₂SO₄.

La réponse de ce binôme ne peut être que fautive pour cette question, puisque ce dernier n'arrive pas à écrire l'équation de la réaction du dosage d'une manière correcte :

Nader-133 : H₂SO₄ plus NaOH plus 2H⁺ taatina (nous donne) / OH⁻ plus SO₂²⁻ plus 2H₂O méfamma hatta ralta fil équation (il n'y a aucune faute dans l'équation) (... ?) ça va

Ceci répond à notre hypothèse générale de départ telle que, les difficultés des étudiants dans le domaine de l'acido-basicité proviennent en partie de la compréhension

partielle de la réaction chimique.

Ce résultat est confirmé par le tableau ci-dessous (Tab. 74) qui traite de la comparaison entre l'analyse *a priori* et l'activité effective du binôme :

Tableau 74 : Comparaison entre l'analyse *a priori* et l'activité du binôme

| Analyse <i>a priori</i> | Activité du binôme |
|-------------------------------|---|
| [é ; o] [é ; G] [G ; o] M.num | [G ; é] [o ; p] [E ; o] [o ; G] [é ; o] M.num |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

[E] : événement perceptible

[M.num] : modèle numérique

Ce tableau montre qu'il y a un écart entre l'analyse *a priori* et celle de l'activité du binôme. Bien que toutes les mises en relations de l'analyse *a priori* soient utilisés par le binôme, l'apprentissage n'a pas eu lieu étant donné qu'il n'y a pas eu de dévolution.

III.3.3. Conclusion

Nous constatons, d'après les résultats des copies, que lors de la résolution de la tâche, les étudiants font beaucoup plus de mises en relations entre les différents niveaux de connaissances (événements, objets, propriétés reconstruites et grandeurs) dans la nouvelle version que dans l'ancienne version. Cette différence au niveau des niveaux de connaissances est due à la différence qui existe entre les deux textes du TP, ce qui confirme nos résultats sur la comparaison des anciens et nouveaux textes.

Toutefois, nous avons remarqué qu'à partir des nouveaux textes du TP, les étudiants mettent en œuvre d'une façon systématique, le niveau de l'événement reconstruit (réaction chimique ou l'état d'équivalence) dans leur réflexion, chose qui n'était pas fréquente chez les étudiants. Par contre, dans l'ancienne version du TP, la majorité des étudiants procèdent par des calculs.

Ces résultats confirment qu'il existe une évolution dans l'activité cognitive de l'apprenant, étant donné que ce dernier utilise le concept de réaction chimique dans son raisonnement.

Cependant, dans l'analyse de la production verbale du binôme enregistré, ce dernier présente des difficultés à résoudre le problème posé, vu que dans son raisonnement il se base sur le concept de la réaction chimique et que ce dernier n'est pas utilisé d'une façon correcte par le binôme. Ce qui revient à dire qu'il n'y a pas eu de dévolution.

Étant donné qu'il n'y a plus de questions identiques dans les deux versions, nous allons traiter par la suite les questions qui figurent uniquement dans la nouvelle version.

Ces questions, au nombre de trois, deux d'entre elles appartiennent à la deuxième activité de ce TP, qui présente un dosage d'une solution d'un polyacide (acide phosphorique H_3PO_4) par une solution de soude et la dernière question, appartient au troisième dosage d'un mélange d'acides (H_2SO_4 et H_3PO_4) par une solution de soude.

L'objectif d'apprentissage de ces deux activités, est de dégager les caractéristiques d'un polyacide et d'un mélange d'acides lors d'un dosage.

III.4. Résultats de la 4^{ème} question

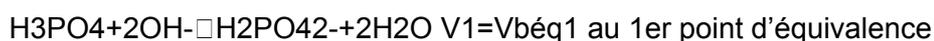
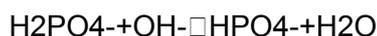
Cette question va permettre à l'étudiant de dégager une des caractéristiques de l'acide phosphorique.

Déterminer les coordonnées de chaque point d'équivalence (volume et pH). Que remarque-t-on à propos des différents volumes d'équivalence ?

III.4.1. Nouvelle version (TP2)

Pour cette question, la majorité des binômes mobilisent plusieurs types de liens mais les niveaux de connaissances sont les mêmes. Dans notre analyse des 40 copies, nous avons dégagé 17 (nous avons recensé 3 non-réponses) mises en relations différentes dans chacune des copies, c'est-à-dire que les niveaux de connaissances sont les mêmes utilisés dans la majorité des copies mais parfois la démarche diffère. Nous prenons comme exemple la copie suivante, nous présentons la réponse écrite à cette question de ce binôme puis entre parenthèses nous donnons le type de liens existant dans cette production.

Copie 7 : Pour un volume V_B de base ajouté ($0 < V_B < V_{B\text{éq}}$) on a donc dosé la 1^{ère} acidité selon la réaction : $H_3PO_4 + OH^- \rightarrow H_2PO_4^- + H_2O$ Pour un volume de V_B ajouté $V_{B\text{éq}1} < V_B < V_{B\text{éq}2}$ on dose les deux premières acidités selon l'équation : $H_3PO_4 + OH^- \rightarrow H_2PO_4^- + H_2O$



$$\text{Au point } E_1 : n(OH^-)_{aj} = 3n(H_3O^+) \quad C_b V_1 = CA_1 V_A \quad CA_1 = CB V_1 / V_A$$

$$\text{Au point } E_2 : n(OH^-)_{aj} = n(H_3O^+)_{1\text{ère acidité}} + n(H_3O^+)_{2\text{ème acidité}} = 2n(H_3PO_4)$$

$$CB V_2 = 2CA_2 V_A \quad \text{Donc } CA_2 = CB V_2 / 2V_A$$

La concentration du 1^{er} point d'équivalence est presque la même que celle de 2^{ème} point d'équivalence car on a $2V_1 V_2$ Titre massique : $CA_{1\text{mass}} = CA_1 M(H_3PO_4)$ $CA_{2\text{mass}} = CA_2 M(H_3PO_4)$.

([G ; o] [E ; p] [o;é] [é ; G] [G; M.num] M.num)

Etant donné que les étudiants suivent 17 démarches différentes dans leurs réponses à cette question, nous allons donner dans le tableau 75 la fréquence de liens mises en jeu dans les 37 copies et non pas l'ensemble de la démarche dans chaque copie.

Tableau 75 : Répartition de la fréquence des types de liens dans les copies

| Types de liens entre les niveaux de connaissances | Fréquence d'apparition dans les copies |
|---|--|
| [G ; M.num] | 28 |
| [M.géo; G] | 26 |
| [G ; o] | 10 |
| [o ; é] | 8 |
| [E; p] | 7 |
| [M.num] | 7 |
| [E ; G] | 5 |
| [p ; o] | 4 |
| [é ; G] | 6 |
| [é ; M.num] | 3 |
| [G ; p] | 3 |
| [é ; p] | 1 |
| [O ; p] | 1 |
| [E ; o] | 1 |
| [E ; é] | 1 |
| [M.géo ; p] | 2 |
| Pas de réponse | 3 |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

[O] : objet perceptible

[E] : événement perceptible

[M.géo] : modèle géométrique

[M.num] : modèle numérique

Etant donnée la nature de la question, les binômes mettent en œuvre les deux premiers types de liens ([G ; M.num] [M.géo; G]) de manière assez semblable. Ces deux liens doivent être utilisés au minimum par le binôme pour fournir une réponse acceptable du point de vue du savoir savant.

Cette activité proposée aux étudiants semble laisser une grande marge de liberté de point de vue des niveaux de connaissances.

Ce tableau montre aussi que le niveau de l'événement reconstruit est de plus en plus utilisé dans la réponse des étudiants.

Dans la plupart des réponses, nous constatons que les étudiants mobilisent, fréquemment :

- Le lien entre le modèle géométrique (points d'équivalence), les grandeurs (pH ou volume) et le modèle numérique (relation qui relie les deux volumes d'équivalence).

Copie 4 : D'après la courbe le premier point d'équivalence a pour coordonnées E'1(5,6 ;4,6)

La deuxième point d'équivalence E'2 (11,4 ;9,7)

On remarque à propos des différents volumes d'équivalences que $V_{BE'2} \approx 2V_{BE'1}$

Copie 8 : 1er point d'équivalence : $V_{B1}=4,85\text{mL}$ et $\text{pH}_1=4,75$

2ème point d'équivalence : $V_{B2}=10,3\text{mL}$ et $\text{pH}_2=9,6$

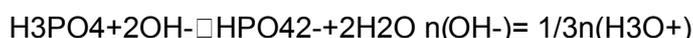
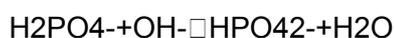
On remarque que $V_{B2} \approx 2V_{B1}$

Dans cette partie, nous avons catégorisé le point d'équivalence comme étant un modèle géométrique et non pas comme un événement reconstruit, car dans les réponses des étudiants le point d'équivalence est décrit sous la forme d'un point appartenant à la courbe et non pas comme étant un point décrivant l'état d'équivalence.

- Le lien entre les objets reconstruits (entités chimiques présentes) et l'événement reconstruit (réaction chimique),

Copie 15 : Pour un volume V_b de base ajouté ($0 < V_b < V_{b\text{éq}}$) on a dosé la 1ère acidité selon la réaction : $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}_2\text{O}$ $n(\text{OH}^-) = 1/3n(\text{H}_3\text{O}^+)$

Pour un volume ajouté tel que $V_{b1} < V_b < V_{b2}$ on a dosé les deux premiers acidités selon l'équation : $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}_2\text{O}$



Au point E1 : neutralisation de H_3O^+ provenant de H_3PO_4^- : $n(\text{OH}^-) = n\text{H}_3\text{O}^+(1\text{acide}) + n\text{H}_3\text{O}^+(2\text{acide}) = n(\text{H}_3\text{PO}_4) + n(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = 2n(\text{H}_3\text{PO}_4)$

Au point E2 : neutralisation de H_3O^+ provenant de HPO_4^- $n(\text{OH}^-) = 1/3n(\text{H}_3\text{O}^+) + n(\text{H}_3\text{O}^+) = C_b V_1$ et $\text{CaE1} = C_b V_1 / V_a$

Dans la copie 15, nous ne trouvons pas la réponse à la question posée dans le texte du TP. Ce binôme cherche à faire correspondre à chaque volume d'équivalence une explication faisant partie du monde reconstruit (monde du chimiste), tout en utilisant des calculs résultant sur une réflexion du monde reconstruit.

- Le lien entre l'événement reconstruit (équivalence ou réaction chimique) et les grandeurs (concentration ou volume),

Copie 25: Au 1ère équivalence on a : $V_{BE1}=5,4\text{m L}$ et $\text{pH}_1=4,4$

Au 2ème équivalence $V_{BE2}=11,5\text{mL}$ et $\text{pH}_2=9,4$ $V_{B2} \approx 2V_{BE1}$

Au niveau de 1ère équivalence on a $\text{pH}_1=4,4$ donc $[\text{H}^+] \gg [\text{OH}^-]$ le milieu est acide donc l'acidité est forte

Au niveau du 2ème équivalence on a $\text{pH}_2=9,4$ donc $[\text{H}^+] \ll [\text{OH}^-]$ le milieu est

basique donc la 2ème acidité est faible et que l'acide ne libère pas des ions H⁺ rapidement.

Au niveau du VBE1=5,4 ce volume qui contient d'ions OH⁻ qui nécessaire a neutraliser 2H⁺ en même temps

De même pour le binôme 25, cherche à fournir des justifications à propos des volumes d'équivalence en se basant sur tous les niveaux du monde reconstruit, sans oublier de valider leurs réponses par des calculs.

- Le lien entre l'événement reconstruit (réaction chimique) et la propriété reconstruite (l'acidité),

Copie 23 : *1ère acidité : acidité moyennement fort



pH1=4,5 et VE1=5,6mL

*2ème acidité : acidité faible pH2=8,75 et VE2=11,4mL



*3ème acidité : acidité très faible pH3=12,02 et VE3=20,8mL on remarque que VE2=2VE1 et VE3=2VE2

Le binôme 23 se base dans son raisonnement sur les écritures des équations de réactions, pour donner une validation à sa réponse.

Ces prises en compte de ses différents types de liens avec l'événement reconstruit, montre qu'il y a évolution dans le raisonnement de l'apprenant. Par contre, nous avons constaté que dans la majorité des réponses des étudiants, le refuge de ces derniers dans le calcul de la concentration de l'acide phosphorique, chose qui n'est pas demandé dans le texte du TP.

III.4.2. Résultats concernant les productions verbales

Cette question a mobilisé deux niveaux de connaissances avec une seule relation avec un autre niveau.

Tableau 76 : Niveaux de connaissances et types de liens mis en oeuvre dans la transcription

| Sans relation [G] | Relation externe [G ; M.num] |
|--------------------|------------------------------|
| 2 | 1 |

Légende :

[G] : grandeur

[M.num] : modèle numérique

Ce binôme a utilisé uniquement le niveau grandeur et le niveau du modèle numérique dans ses réponses. Les trois propositions suivantes, représentent la réponse du binôme enregistré à cette question :

Taoufik-332 : Que remarque-t-on à propos des différents volumes d'équivalences ? + 1,8 wa (et) 3,(::)

Nader-333 : VbE2 après égal VbE1 ça va / éktéb (écrit) on remarque

Taoufik-334 : On remarque que VbE2

Etant donné le faible nombre des niveaux de connaissances mis en œuvre par ce binôme, nous n'analyserons pas cette question aussi finement que les précédentes.

Nous présentons dans le tableau qui suit, une comparaison de l'activité du binôme avec l'analyse *a priori*.

Tableau 77 : Comparaison entre l'analyse *a priori* et l'activité du binôme

| Analyse <i>a priori</i> | Activité du binôme |
|-------------------------|--------------------|
| [M.géo ; G] [G ; M.num] | [G ; M.num] |

Légende :

[G] : grandeur

[M.num] : modèle numérique

[M.géo] : modèle géométrique

Nous constatons, d'après le tableau 77, que seul la relation entre les niveaux [M.géo;G], pris en compte dans l'analyse *a priori* n'est pas présente dans l'activité du binôme, ce qui engendre une réponse incomplète, puisque ce dernier n'a pas fourni les coordonnées de chaque point d'équivalence.

III.4.3. Conclusion

A partir des résultats élucidés ci-dessus, nous constatons que les apprenants montrent une nette progression dans leurs réflexions à ce type de question tout en utilisant le niveau de l'événement reconstruit (équivalence ou réaction chimique).

Toutefois, nous avons constaté aussi que les étudiants essayent de valider leurs réponses par le biais des calculs de concentrations, comme si ce type calcul constituait une échappatoire aux difficultés que présentent les apprenants.

III.5. Résultats de la 5^{ème} question

Cette question représente une généralisation à partir des deux questions précédentes sur le comportement de l'acide phosphorique en solution aqueuse.

Sachant que l'acide phosphorique H_3PO_4 est un triacide, interpréter ce qui vient d'être remarqué à partir des différents volumes d'équivalence. On pourra faire différentes hypothèses sur la force des différentes acidités de l'acide phosphorique et voir si ces hypothèses sont confirmées ou infirmées par l'expérience réalisée.

III.5.1. Nouvelle version (TP2)

Nous présentons dans le tableau qui suit, le détail des niveaux de connaissances mises en jeu par les binômes concernant cette activité.

Tableau 78 : Répartition de la fréquence des types de liens dans les copies

| Types de liens entre les niveaux de connaissances | Fréquence d'apparition dans les copies |
|---|--|
| [o ; é] | 24 |
| [o; p] | 22 |
| [M.num] | 11 |
| [G ; o] | 10 |
| [p; G] | 10 |
| [é ; G] | 9 |
| [é ; p] | 5 |
| [G ; p] | 4 |
| [E ; é] | 3 |
| [E ; p] | 3 |
| [E ; G] | 1 |
| [G ; M.num] | 1 |
| [M.géo ; E] | 1 |
| Pas de réponse | 6 |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

[E] : événement perceptible

[M.num] : modèle numérique

[M.géo] : modèle géométrique

Nous constatons, d'après le tableau ci-dessus, que la plupart des étudiants utilisent souvent les deux types de liens : [o ; é] et [o ; p], c'est-à-dire le lien entre les entités chimiques réagissant ensemble et la propriété de l'acide phosphorique.

Copie 4: Equations : $H_3PO_4 = 3H^{++} + PO_4^{3-}$

$H_3PO_4 + OH^- = H_2PO_4^- + H_2O$

$H_2PO_4^- + OH^- = HPO_4^{2-} + H_2O$

$H_3PO_4 + 2OH^- = HPO_4^{2-} + 2H_2O$

$HPO_4^{2-} + OH^- = H_2O + PO_4^{3-}$

$H_3PO_4 + 3OH^- = 3H_2O + PO_4^{3-}$

pour V1 correspond à la neutralisation de 1ère acidité $H_2PO_4^-$

V2 correspond à la neutralisation de la 2ème acidité HPO₄²⁻

La forte fréquence d'apparition de ces deux types de liens montre l'évolution dans la réflexion de l'apprenant. Ce dernier utilise dans son raisonnement souvent le monde reconstruit, en faisant en quelque sorte abstraction au monde perceptible.

Cette évolution dans les réflexions est due à la manière dont nous avons posé les questions, puisque nous avons des TP basés sur l'expérience et la réflexion.

Le tableau 78, montre que l'événement reconstruit est utilisé souvent en relation soit avec l'objet reconstruit, soit avec une grandeur puisqu'elle est mesurable ou calculable.

Nous présentons par la suite, les différents liens qui sont en relation avec l'événement reconstruit dans les différentes copies :

- Le lien entre les objets reconstruits (entités chimiques présentes) et l'événement reconstruit (réaction chimique),

Copie 5 : $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}_3\text{O}^+$

$\text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+$

$\text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{PO}_4^{3-} + \text{H}_3\text{O}^+$

Equation du dosage $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{NaOH} \rightleftharpoons \text{HPO}_4^{2-} + 2\text{Na}^+ + n(\text{H}_3\text{O}^+) = n(\text{OH}^-)$

Or $n(\text{H}_3\text{O}^+) = n(\text{H}_3\text{PO}_4) = \text{CAVA}$

$\text{CAVA} = \text{CBV}_1$ donc $\text{CA} = \text{CBV}_1 / \text{VA}$

$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = \text{CAVA}$

Dans sa réponse à la question posée, le binôme 25 se contente d'écrire les différentes équations chimiques relatives à chaque réaction et par la suite, il se lance à faire des calculs de concentration et de quantité de matière sans que ces derniers ne leurs soit demandés.

- Le lien entre l'événement reconstruit (équivalence) et les grandeurs (volumes),

Copie 28 : Il y a deux volumes d'équivalence :

1ère équivalence : le 1er volume (5,5mL) pour arracher un seul proton H⁺

2ème équivalence : 2ème volume (10,5mL) pour arracher deux protons H⁺

il ya une acidité très forte $V_2 > V_1$ les deux acidités sont presque de même acidité

Pour donner les caractéristiques de l'acide phosphorique en solution aqueuse, ce binôme se base par une justification utilisant les volumes d'équivalence, pour pouvoir dégager une propriété de l'acide.

- Le lien entre l'événement reconstruit (réaction chimique) et les propriétés (acidité),

Copie 25 : Sachant que l'acide phosphorique H₃PO₄ est un triacide : les différents volumes d'équivalence du au nombre d'acidité et de libération des ions H⁺ : 3 acidités sont de forces très différentes :

*1ère acidité : acidité moyennement forte elle correspond à



*2ème acidité : acidité faible, on a : $\text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+$

*3ème acidité : acidité très faible : $\text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{PO}_4^{3-} + \text{H}_3\text{O}^+$

Pour pouvoir dégager une propriété de l'acide phosphorique, ce binôme utilise comme justificative la réaction chimique.

- Le lien entre l'événement reconstruit (point d'équivalence) et l'événement perceptible (saut de pH),

Copie 9 : Pour un triacide on constate deux points d'équivalence on remarque deux sauts seulement car le triacide devient faible ce qui explique l'absence de 3ème saut.

Dans ces deux cas, le point d'équivalence est catégorisé comme étant un événement reconstruit, car il représente, pour ces deux binômes un état du système réactionnel et non pas un point de la courbe.

Toutefois, la troisième ligne du tableau 78 montre que quelques étudiants (11 binômes) se limitent à l'utilisation du modèle numérique pour calculer la concentration de l'acide phosphorique sans que le texte du TP le mentionne :

Copie 6 : H_3PO_4 est un triacide donc pour V1 ajouté on a neutralisée la 1ère acidité de H_3PO_4



Pour V2 ajouté, on a neutralisé à la fois la 1ère et la 2ème acidité de H_3PO_4 .



Donc pour V2 : $n\text{H}_3\text{PO}_4 = 2n\text{OH}^-$ ceci est le résultat de la neutralisation de la 1ère et de la 2ème acidité, à la 2ème équivalence on a donc $\text{CH}_3\text{PO}_4\text{VH}_3\text{PO}_4 = 2(\text{COH}-\text{VOH}-)$

Nous pouvons dire que ce résultat est en rapport avec la pratique d'enseignement, puisque les étudiants sont habitués, dans la plupart des cas à faire des calculs dans les dosages. A titre d'exemple, dans l'ancienne version de ce TP, les deux questions qui existent pour ce dosage sont les suivantes :

- Calculer dans les deux cas la concentration molaire de la solution en H_3PO_4 (Ca),
- Calculer le titre massique (P = 31 ; O = 16)

De manière générale, cette activité conduit la plupart des étudiants à prendre en compte les 3 niveaux de connaissances suivants : l'événement reconstruit, l'objet reconstruit et la propriété reconstruite. Ce résultat montre qu'il y a évolution dans le raisonnement de l'apprenant, puisque ce dernier se base sur le monde reconstruit dans ses justificatives et non pas sur le monde perceptible.

Toutefois, nous constatons que les binômes utilisent en seconde position le lien entre l'événement reconstruit et la grandeur puisque ce dernier niveau est mesurable et

calculable, ce qui confirme notre résultat cité auparavant, que l'apprenant doit systématiquement faire des calculs pour valider ses réponses.

III.5.2. Résultats concernant les productions verbales

La justification à la réponse du binôme enregistré se base sur le nombre de saut de pH, puis sur la relation à l'équivalence.

Les activités du binôme en termes de niveaux de connaissances sont rapportées dans le tableau 79.

Tableau 79 : Niveaux de connaissances et types de liens mis en œuvre dans la transcription

| Sans relation [E] [é] [M.num] | | | Relation interne [o ; p] | Relation externe [E; o] [é ; G] [G; M.num] | | |
|-------------------------------|---|---|--------------------------|--|---|---|
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

[E] : événement perceptible

[M.num] : modèle numérique

D'après ce tableau, nous remarquons que l'événement reconstruit (point d'équivalence) est présent dans la transcription, et il est en lien avec le niveau grandeur (concentration). Ce lien est mis en œuvre par le binôme afin d'appliquer la relation à l'équivalence au point d'équivalence.

Toutefois, comme nous l'avons signalé dans le chapitre portant sur l'analyse du TP1, le raisonnement de l'apprenant se focalise sur le point d'équivalence.

Nader-341 : Fih (il a) deux points d'équivalences chniya houma (c'est quoi ces deux) au point 1 d'équivalence on a CA/

Nader-351 : On remarque / au 2ème point d'équivalence +

Il apparaît ainsi, le point d'équivalence est considéré comme un événement reconstruit puisque c'est un point de l'évolution du système, est une notion nécessaire pour la construction des connaissances chez l'apprenant, il est utilisé comme intermédiaire pour appliquer la relation à l'équivalence.

Cette relation appliquée aux deux points d'équivalences a servi à ce binôme pour dégager la relation qui relie les deux volumes d'équivalences

Nous présentons dans le tableau suivant, les différences constatées entre les procédures de résolution de la tâche de l'analyse *a priori* et celle de l'activité du binôme.

Tableau 80 : Comparaison entre l'analyse *a priori* et l'activité du binôme

| Analyse <i>a priori</i> | Activité du binôme |
|---|------------------------------------|
| [E ; p] [p ; o] [G ; p] [o ; é] [é ; E] | [o ; p] [E ; o] [é ; G] [G; M.num] |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

[E] : événement perceptible

[M.num] : modèle numérique

Le tableau ci-dessus (Tab.80) montre l'écart qui existe entre l'analyse *a priori* et celle de l'activité du binôme. Ce dernier ne se base pas dans son raisonnement sur le concept de réaction chimique ; dans toutes les questions relatives à ce dosage, ce binôme n'écrit pas les équations relatives à chaque réaction du dosage.

Ce résultat confirme notre hypothèse générale de départ telle que, les difficultés des étudiants dans le domaine de l'acido-basicité proviennent en partie de la compréhension partielle de la réaction chimique.

Toutefois, d'après ce tableau 80, les trois niveaux de connaissances tels que le niveau de grandeur, le niveau de l'objet reconstruit et de la propriété reconstruite sont présents dans les deux analyses puisque la tâche se réfère à ces trois niveaux de connaissances. Cela est confirmé par ROBINAUT (1997), lorsque la tâche évoque un certain niveau de connaissance, nous le retrouverons dans la réponse des élèves :

«L'analyse (...) montre que lorsque la question met en jeu un niveau de modélisation, ce niveau est celui qui sera principalement pris en compte par les élèves » (robinault, 1997, p.129)

Lors de la comparaison entre les niveaux mis en œuvre et les relations réalisées et ceux qui sont attendues (Tab.80), nous constatons qu'il n'y a pas eu de dévolution à l'apprentissage, ce qui nous amène à dire que ce binôme est en difficulté et cette difficulté provient de la non compréhension du concept de réaction chimique.

III.5.3. Conclusion

Cette activité nous permet de dégager les résultats suivants :

- L'analyse des différentes copies, montre que les binômes utilisent fréquemment le monde reconstruit dans leurs raisonnements. Ce raisonnement est basé sur un fondement théorique chimique bien structuré.
- Le niveau de l'événement reconstruit est de même utilisé dans l'activité cognitive de l'apprenant, et en relation avec le niveau de grandeur. Ce dernier est utilisé par la majorité des apprenants pour faire un calcul de concentration, sans que cela ne soit demandé.

- Le niveau du modèle numérique est indispensable au raisonnement de l'apprenant, afin de valider ses réponses.

III.6. Résultats de la 6^{ème} question

Cette question fait partie du troisième dosage : dosage d'un mélange d'acides. Cette activité a pour objectif d'apprentissage de synthétiser les différents résultats relatifs aux deux premiers dosages

Pour cela, l'étudiant doit faire correspondre à chaque saut de pH, l'équation de la réaction relative à chaque cas.

A quoi correspond chaque saut observé sur la courbe de dosage ? Ecrire l'équation de la réaction mise en jeu dans chaque cas.

III.6.1. Nouvelle version (TP2)

Les niveaux de connaissances mis en œuvre par les étudiants dans cette activité sont représentés par le tableau ci-dessous.

Tableau 81 : Répartition de la fréquence des types de liens dans les copies

| Types de liens entre les niveaux de connaissances | Fréquence d'apparition dans les copies (N = 40) |
|---|---|
| [p ; o] | 16 |
| [E; p] | 16 |
| [o; é] | 14 |
| [E ; o] | 3 |
| [G ; o] | 3 |
| [G ; p] | 2 |
| [E ; é] | 2 |
| [M.num] | 2 |
| [E ; G] | 1 |
| [E ; O] | 1 |
| [M.géo ; G] | 1 |
| Pas de réponse | 14 |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

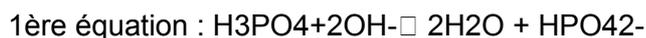
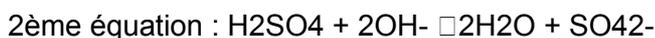
[E] : événement perceptible

[M.géo] : modèle géométrique

[M.num] : modèle numérique

Ce tableau nous indique que pratiquement la majorité des binômes prennent en compte principalement les niveaux de l'événement reconstruit (réaction chimique), les objets reconstruits (les entités chimiques présentes), la propriété reconstruite (l'acidité) et l'événement perceptible (saut de pH), tous reliés entre eux ([p ; o] , [E; p] et [o; é]).

Copie 1: Le 1er saut correspond à la 1ère acidité H₃PO₄ et le 2ème saut correspond à la 2ème acidité H₂SO₄



Copie 6: Le 1er saut correspond à la neutralisation de la 1ère et de la 2ème acidité de H₃PO₄ ainsi qu'à la neutralisation de la 1ère acidité de H₂SO₄. le 2ème saut de pH correspond à la neutralisation de toutes les acidités de la solution

Bien que les bons types de liens existent dans la réponse de ces deux binômes (1 et 6), la réponse à cette question est considérée comme fautive. Ces deux binômes présentent des difficultés à faire correspondre à chaque saut de pH l'acidité relative à chaque acide.

Copie 9 : Le 1er saut correspond à la 1ère dosage de H₂SO₄ avec la soude NaOH et dosage de H₃PO₄ avec sa soude NaOH



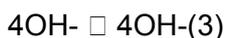
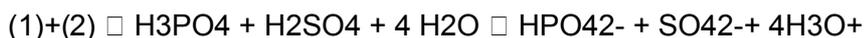
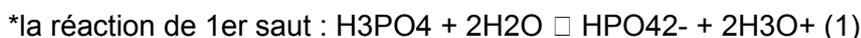
Le 2ème saut correspond à la 2ème dosage de H₃PO₄ avec la soude NaOH



Par contre, le binôme 9 parvient à faire correspondre à chaque saut de pH, le dosage de l'acidité correspondante.

Le tableau montre aussi l'existence du lien entre l'événement reconstruit (réaction chimique ou point d'équivalence) et l'événement perceptible (saut de pH) :

Copie 16 : Chaque sauts de pH correspond à un point d'équivalence



cette équation correspond au 2ème saut

Le binôme relatif à la copie16 ne parvient pas à donner des justifications à sa réponse, étant donnée qu'il est en difficulté. De même pour la copie 32, ce binôme se

trouve en difficulté à faire correspondre la réaction chimique convenable à chaque saut de pH.

A partir de l'analyse de 26 copies (nous avons 14 non réponses), nous avons constaté que la moitié des étudiants (20 étudiants) n'ont pas répondu correctement à la question, par contre 6 d'entre eux, ont fait correspondre convenablement à chaque saut de pH, le dosage de l'acidité correspondante à chaque acide comme le prouve la copie 30.

Copie 30 : *1er saut : correspond à la neutralisation de toute la quantité d'acide sulfurique H_2SO_4 + la 1ère acidité de l'acide phosphorique H_3PO_4

*2ème saut : correspond à la neutralisation de la 2ème acidité de l'acide phosphorique

Nous constatons à partir de l'analyse de l'ensemble des copies, que les binômes ne parviennent pas à écrire convenablement la réaction du dosage correspondante à chaque cas. Ce qui prouve que ces binômes présentent des difficultés à écrire les réactions du dosage, ce qui confirme encore une fois notre hypothèse générale de départ telle que, les difficultés des étudiants dans le domaine de l'acido-basicité proviennent en partie de la compréhension partielle de la réaction chimique.

III.6.2. Résultats concernant les productions verbales

Les niveaux de savoirs mis en jeu dans cette question sont détaillés dans le tableau 82.

Tableau 82 : Niveaux de connaissances et types de liens mis en oeuvre dans la transcription

| | | | | |
|---------------------------------------|---|----------------------------------|---|---|
| Sans relation [é] [o] [G] [M.géo] [E] | | | | |
| 3 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| Relation interne [o;é] | | Relation externe [E ; o] [E ; é] | | |
| 2 | 3 | | 3 | |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[G] : grandeur

[E] : événement perceptible

[M.géo] : modèle géométrique

L'événement reconstruit est présent dans cette partie de transcription lorsque ce binôme écrit les réactions du dosage relatives à chaque saut de pH ou bien lorsqu'il parle de l'équivalence :

Taoufik-441 : L'équivalence correspond à l'équivalence

Nader-454 : $NaOH$ / plus H_2SO_4

De même, le niveau grandeur est présent dans le raisonnement de ce binôme étant

donné qu'il donne les coordonnées de chaque point d'équivalence :

Taoufik-417 : E1 E2 E3 aatini (donne-moi) coordonnées mtaa (de) E1 +

Nader-420 : Est égal 12,4 / pH 5,1

Nous présentons dans le tableau suivant, la comparaison des activités du binôme avec celle de l'analyse *a priori*, ce qui nous permet de voir s'il y a lieu à une dévotion.

Tableau 83 : Comparaison entre l'analyse *a priori* et l'activité du binôme

| Analyse <i>a priori</i> | Activité du binôme |
|-------------------------|-----------------------------------|
| [E ;p] [p ;o] [o ;é] | [E ; M.géo] [E ; o] [E ; é] [o;é] |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[G] : grandeur

[E] : événement perceptible

[M.géo] : modèle géométrique

Nous constatons, d'après le tableau ci-dessus, qu'il y a un large écart entre l'analyse *a priori* et celle de l'activité du binôme. Cet écart est du au fait que ce binôme ne parvient pas à tracer convenablement la courbe du dosage puisque ce dernier prétend que la courbe présente 3 sauts de pH, ce qui est absurde.

Taoufik-413 : D'après cette courbe on remarque

Nader-413 : Il y a 3 points wa (et) 3 sauts wa 3 points d'équivalence

Etant donnée la faute commise par ce binôme lors du traçage de la courbe, le reste de la réponse est considéré comme fausse.

III.6.3. Conclusion

Les résultats des analyses des copies et ceux de la transcription, montrent les difficultés des étudiants face au problème traité. Le nombre minimal de réponses justes à cette question prouve que les étudiants sont face à une difficulté d'apprentissage. Nous constatons que les difficultés des étudiants se manifestent au niveau des entités chimiques présentes en solution et au niveau de la correspondance de l'événement perceptible à un événement reconstruit.

IV. Conclusion

Nous constatons, lors de la comparaison entre l'ancienne version et la nouvelle version du TP2, que la proportion des différentes relations entre les niveaux de connaissances du monde reconstruit devient de plus en plus importante dans la nouvelle version. Ce résultat provient en partie de la manière dont la question a été posée.

Nous avons également mis en valeur le rôle primordial des questions posées aux étudiants relatifs aux deux versions du TP2, qui montre l'originalité de la nouvelle version qui a un rôle expérimental et de réflexion. La manière dont la question est posée pousse l'étudiant à réfléchir et à produire. Certes, nous avons signalé que dans l'ancienne version du TP2, l'étudiant est amené tout le temps à faire des calculs, ces derniers sont toujours indispensables dans un travail expérimental mais il faut préciser, par contre, l'utilité de faire un calcul dans chaque question.

Toutefois, nous avons remarqué qu'à partir des nouveaux textes du TP, les étudiants mettent en œuvre d'une façon systématique, le niveau de l'événement reconstruit (réaction chimique ou l'état d'équivalence) dans leur réflexion, chose qui n'était pas fréquente chez les étudiants. Par contre, dans l'ancienne version du TP, la majorité des étudiants procèdent par des calculs.

Ces résultats confirment qu'il existe une évolution dans l'activité cognitive des apprenants, étant donné que ces derniers utilisent le fréquemment le monde reconstruit et plus précisément le concept de réaction chimique dans leurs raisonnements.

Bien qu'il ait eu évolution remarquable dans les raisonnements des apprenants, nous avons constaté aussi l'importance du modèle numérique dans leurs raisonnements. Ce dernier est généralement utilisé par les étudiants afin de valider leurs réponses. Ce processus est dû à une habitude dans l'enseignement.

A partir de la comparaison des deux versions, nous avons constaté que l'ancienne version du TP2 ne pose pas les vrais problèmes qui font difficultés à l'apprentissage des réactions acido-basiques, par contre la nouvelle version pose le problème et montre les difficultés rencontrées par les étudiants vis-à-vis des dosages de polyacides.

Ces difficultés proviennent du fait que, les étudiants se réfugient, dans l'ancienne version du TP, à faire des calculs, ce qui masque en quelque sorte leurs difficultés. Par contre, dans la nouvelle version, nous avons opté une autre stratégie qui nous permette de faire ressortir les différentes difficultés des apprenants relatives à ce deuxième TP. Ces difficultés que rencontrent les étudiants sont dues à l'obstacle du registre microscopique (DUMON & LAUGIER, 2000) persistant encore à l'université : les étudiants n'arrivent pas à déterminer les différentes espèces chimiques présentes dans le système réactionnel.

Chapitre 4. Analyse du TP3 : « DOSAGE D'UNE DIBASE ET D'UN MELANGE DE BASE »

Dans cette partie, nous présentons les résultats liés à la réalisation du TP3 " dosage d'une dibase et d'un mélange de bases", en comparaison de l'ancienne version de ce TP.

Nous analysons, tout d'abord ce TP, du point de vue des connaissances qu'il met en jeu et qu'il vise à construire, puis en prenant en compte les activités de modélisation qu'il va permettre aux étudiants de mettre en œuvre, nous comparerons cette analyse avec

celle des activités de modélisation mises en œuvre par les étudiants dans son ancienne version.

I. Texte du TP3 (nouvelle version)

I.1. Texte d'origine TP04 « Dosage d'une dibase et d'un mélange de base »

Le TP3 a été construit à partir du TP04 (version antérieure à 1999) qui porte le même titre « dosage d'une dibase et d'un mélange de bases » que nous présentons ci-dessous. Ce texte a subi des modifications au niveau du travail de réflexion que nous allons analyser dans ce chapitre.

Le texte du TP04 fourni aux étudiants comprend un développement théorique, des méthodes à utiliser pour obtenir les mesures à effectuer et des questions.

La première manipulation de ce TP, consiste à réaliser le dosage d'une solution de carbonate de sodium Na_2CO_3 par une solution d'acide sulfurique H_2SO_4 en présence d'un indicateur coloré (dosage volumétrique), puis un dosage pH-métrique. Le texte fourni aux étudiants donne d'abord le mode opératoire :

MANIPULATION

Sachant que le carbonate de sodium commercial a pour formule $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ peser la quantité nécessaire de sel pour faire 100 mL d'une solution décimolaire. Dissoudre ce sel dans 30 mL d'eau environ, verser dans une fiole jaugée et compléter à 100 mL par addition d'eau après avoir bien rincé le bécher. BIEN AGITER

Choisir les indicateurs colorés 1 et 2 nécessaires au dosage.

Dans un bécher, mettre exactement (pipette) 20 mL de carbonate de sodium à doser. Faire le dosage en présence d'indicateurs par l'acide sulfurique décimolaire (lentement).

Tracer la courbe de titrage de 10 mL de carbonate de sodium + 20 mL d'eau par H_2SO_4 N/10 à l'aide du pH-mètre.

Ce texte est essentiellement rédigé en terme d'objets (solution, burette,...) et d'événements (mettre,) du monde perceptible.

CALCULS

Calculer : la normalité, la concentration molaire et le titre massique. Faire le calcul d'incertitude ($N = 23$).

Nous constatons que les questions présentées aux étudiants après la réalisation de l'expérience relèvent du modèle numérique. L'événement reconstruit (la réaction chimique) n'est pas explicité dans la partie réflexion. Les questions relatives aux calculs de la normalité, la concentration et le titre massique présentées de la manière suivante, ne présentent aucun objectif d'apprentissage, puisqu'ils n'explicitent pas explicitement le but de faire ces calculs.

La seconde partie concerne le dosage de la soude carbonatée. L'étudiant est amené à réaliser un premier dosage volumétrique en présence de phénolphaléine puis en

présence d'hélianthine et finalement un dosage pH-métrique.

MANIPULATION

Dans un bécher, mettre 10 mL de solution à doser et 20 mL d'eau.

- Faire un dosage en présence de phénolphtaléine (V1 mL de H_2SO_4)
- Puis en présence d'hélianthine (V2 mL de H_2SO_4)
- Tracer la courbe de titrage $pH = f(V_{mL} H_2SO_4)$

Selon notre cadre théorique, nous codons les termes utilisés dans le texte de la manipulation, comme appartenant majoritairement au monde perceptible.

CALCULS

Donner le résultat en normalité, concentration molaire et titre massique pour la soude 1. et pour le carbonate de sodium. Faire un calcul d'incertitude.

Soient MS et MC les concentrations molaires en soude et en carbonate. D'après 2. l'équation (1) deux moles de soude se transforment en une mole de carbonate. Dans un litre de solution, les MC moles de carbonate proviennent de 2MC moles de soude. Avant carbonation, la solution contenait donc (2MC + MS) moles de soude ; sur cette quantité 2MC moles se sont carbonatées. Calculer le pourcentage de la soude initiale qui s'est carbonatée.

Ce qui est demandé aux étudiants dans la partie réflexion relève majoritairement du modèle numérique. La réaction du dosage n'est mise en évidence dans aucune question de ce TP.

Les termes utilisés dans cette partie du texte du TP04 appartiennent soit au monde perceptible, soit au modèle géométrique soit au modèle numérique. Les réponses des étudiants qui seront dégagés à partir de cette expérimentation n'ont pas un objectif d'apprentissage nouveau pour l'apprenant, il s'agit bien d'un raisonnement basé sur des calculs.

A partir de la description du texte original de l'ancienne version du TP3, nous pouvons constater que dans tous les procédés expérimentaux et les questions à traiter, la réaction chimique n'est pas prise en compte.

En dépit de la présence d'une partie théorique, les objectifs conceptuels ne sont pas identifiables et le texte du polycopié présente les caractéristiques d'un texte à visée pragmatique (RICHARD, 1990).

Les analyses que nous avons faites à partir du texte de TP04 mettent en évidence un point que nous estimons faible mais important : l'absence quasi totale d'entraînement à la conception d'expériences dans le but de démontrer quelque chose. Il est bien sûr difficile, et parfois aventureux, d'inciter les étudiants à réfléchir, mais il nous semble que ceci est indispensable pour une compréhension correcte des phénomènes chimiques et de leurs fonctionnements. Cette idée rejoint celle que nous avons évoqué dans l'analyse des autres textes de l'ancienne version.

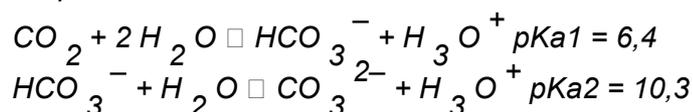
I.2. Description de la version finale du TP3 « Dosage d'une dibase et d'un mélange de bases »

Le texte du TP3 que nous avons construit est donné aux étudiants sous forme de photocopié le jour même de la séance. Nous décrivons tout d'abord le texte du TP3, puis nous caractériserons les objectifs et les connaissances mises en jeu de la séance elle-même.

Nous mettons en lumière dans ce qui suit, quelques caractéristiques de ce texte permettant la compréhension des observations qui suivent.

Au début du 1^{er} dosage, nous avons fourni aux étudiants un aperçu théorique sur les équilibres de BRONSTED relatifs aux deux couples :

Le dioxyde de carbone en solution aqueuse est la forme acide du couple acido-basique $\text{CO}_2 / \text{HCO}_3^-$. L'ion hydrogénocarbonate est lui-même la forme acide du couple $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_3^{2-}$. L'ion carbonate est donc une dibase. L'ion hydrogénocarbonate qui est à la fois la forme acide d'un couple et la forme basique d'un autre couple est appelée amphotère. Les équilibres de Bronsted et les pKa des couples sont respectivement :



Le premier dosage consiste, tout d'abord, à préparer une solution de carbonate de sodium puis à réaliser le titrage de cette solution au moyen d'une solution d'acide sulfurique.

EXPERIENCE

Le carbonate de sodium est commercialisé sous la forme hydraté $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

Déterminer la masse (m) qu'il faut peser afin de préparer 100 mL d'une solution de concentration $0,050 \text{ mol.L}^{-1}$.

Pour préparer une telle solution, peser cette quantité de sel. Transvaser sans perte cette masse dans une fiole jaugée de 100 mL et introduire 30 mL d'eau. Agiter jusqu'à la dissolution complète du sel. On notera en passant l'effet thermique associé à cette dissolution. Enfin, ajouter de l'eau distillée et ajuster au trait de jauge de la fiole.

Calculer le pH de cette solution.

DOSAGE pH-METRIQUE

A l'aide d'un pH-mètre étalonné, effectuer le dosage, dans un bécher, de 20 mL de cette solution, prélevée à la pipette, au moyen d'une solution d'acide sulfurique de concentration $0,050 \text{ mol.L}^{-1}$.

Tracer la courbe $\text{pH} = f(\text{volume d'acide versé})$.

Les consignes données aux étudiants ne peuvent être rédigées uniquement qu'avec des termes appartenant au monde perceptible : « peser, effectuer, solution, pipette... » Par contre, les questions proposées dans le travail de réflexion sont catégorisées suivant

le monde reconstruit.

Toutefois, notre hypothèse principale de recherche est que les difficultés que rencontrent les étudiants au niveau des dosages acido-basiques relèvent de la non compréhension du concept de réaction chimique.

Lors de la construction des questions de réflexion, nous nous sommes focalisés sur le concept de réaction chimique pour pouvoir détecter le niveau de compréhension de l'étudiant de ce concept à travers les acides et les bases.

La manière dont ces questions de réflexions sont présentées, vont aider l'étudiant à construire une connaissance relative à chaque dosage : « (...) *le savoir est une association entre les bonnes questions et les bonnes réponses* » (BROUSSEAU, p.58, 1998).

TRAVAIL DE REFLEXION

La courbe possède 2 sauts de pH. A quoi correspondent-ils ? Justifier en donnant les 1. réactions mises en jeu.

Déterminer les coordonnées des points d'équivalence et retrouver ces valeurs par le 2. calcul.

Combien peut-on définir de zones tampon ? Pour chacune d'elles, préciser quelles 3. sont les entités chimiques responsables présentes.

Pourrait-on effectuer un tel dosage à l'aide d'indicateurs colorés ? Discuter. 4.

Si l'on avait dosé, non pas avec une solution d'acide sulfurique 0,05 mol.L⁻¹, mais 5. avec une solution aqueuse de CO₂ dissous 0,05 mol.L⁻¹, quelle aurait été la courbe de dosage. Pour répondre à cette question, il est nécessaire de recenser à chaque étape du dosage la nature des espèces en solution ainsi que leur concentration. Il est également vivement recommandé de trouver quelle est l'équation du dosage.

A partir de la première question jusqu'à la cinquième, nous avons suivi une démarche chronologique bien déterminé dans la construction des connaissances, pour que l'apprentissage s'opère.

Dans la deuxième partie de ce TP, nous nous intéressons à réaliser un dosage d'une soude carbonatée, en présence de deux indicateurs colorés puis par pH-métrie.

La particularité de ce dosage était de faire réfléchir l'étudiant sur son système réactionnel avant qu'il ne réalise l'expérience, c'est-à-dire que nous avons voulu que l'étudiant teste ses prédictions à partir d'une théorie et de les valider après par l'expérience.

Réaction de carbonatation de la soude

Les solutions de soude réagissent avec le dioxyde de carbone présent dans 1. l'atmosphère. Traduire cette carbonatation par une équation chimique. On justifiera la forme sous laquelle se retrouve le dioxyde de carbone dans la soude carbonatée.

Comment évolue le pH de la soude pendant la carbonatation ? 2.

Prévoir, en la justifiant, l'allure de la courbe de dosage, par un acide fort, d'une soude 3. partiellement carbonatée.

A partir de là, l'étudiant va réaliser les expériences afin de valider ses prédictions aux questions précédentes :

Expérience

Dosage EN PRESENCE DE deux indicateurs colorés

Dans un bécher, mettre 10 mL de solution de soude partiellement carbonatée, et 20 mL d'eau distillée.

Faire un dosage en présence de phénolphthaléine par une solution d'acide sulfurique de concentration 0,05 mol.L⁻¹. Soit V1eq le volume versé à l'équivalence.

Refaire le même dosage en présence d'hélianthine. Soit V2eq le volume à l'équivalence.

Ces résultats expérimentaux sont-ils en accord avec votre prédiction de la question III.1.3 ? Discuter.

Dosage par pH-métrie

Effectuer un dosage rapide de la solution en suivant la variation de pH. De plus, en milieu très basique, l'utilisation de ces électrodes peut conduire à des valeurs peu précises de pH (ou inattendues).

N.B : Les électrodes de verre se détériorent en milieu très basique.

Les questions qui vont suivre cette expérimentation vont être en rapport des prédictions effectuées par l'apprenant.

TRAVAIL DE REFLEXION

1. La courbe de dosage obtenue est-elle conforme à la prédiction du III.1.3 ? Discuter.
2. Est-elle conforme aux résultats du III.2 ? Discuter.
3. Diviser cette courbe en plusieurs parties et indiquer quelles sont les entités chimiques majoritaires dans chaque partie ?
4. Donner les coordonnées des points remarquables de la courbe et retrouver ces valeurs par le calcul.

A travers cette expérimentation, qui est différente de celles des autres TP, l'étudiant doit être capable de réfléchir sur le système réactionnel et de fournir des prédictions fondées sur la théorie et sur les dosages réalisés précédemment, avant de réaliser l'expérience.

Les questions présentes dans ce TP sont différentes de ceux des autres nouveaux TP, dans l'objectif que l'étudiant fasse une synthèse sur ce qu'il a appris auparavant.

A partir de l'analyse du texte de TP3, la finalité de cet enseignement que nous voulons atteindre est de, développer les capacités intellectuelles de l'apprenant en lui permettant de comprendre, de raisonner et de construire des apprentissages intelligents et fonctionnels lors de l'apprentissage des réactions acido-basiques.

Etant donnée que les questions de l'ancienne version du TP appartiennent uniquement au niveau calcul, nous avons opté, dans la nouvelle version du TP, de reconstruire ces questions et d'en faire d'autres qui nécessitent une part de réflexion sur le système réactionnel chez l'apprenant. Cependant, le résultat de cette modification engendre des questions complètement différentes dans les deux versions, ce qui ne nous permet pas de faire une comparaison des copies des étudiants entre l'ancienne à la nouvelle version.

I.3. Comparaison des deux textes de TP

Nous avons procédé de la même manière que dans les deux autres TP, c'est-à-dire que la comparaison entre l'ancien texte TP04 et le nouveau texte TP3 a été étroitement de la carte d'analyse élaborée à partir des travaux de TIBERGHIE & al. (2001).

Nous en avons conclu que les anciens textes n'aident pas les étudiants à établir des liens entre les différents niveaux de connaissances tels que le niveau des théories/modèles et le monde reconstruit. Les anciens textes de TP ont été modifiés au niveau des questions de réflexion à fin de permettre aux étudiants de faire de tels liens.

Nous présentons par la suite les résultats de l'analyse des textes du TP04 et TP3 à l'aide de la carte d'analyse présentée par TIBERGHIE & al. (2001) présentée dans le projet « Labwork in Science Education », afin de monter la différence entre l'ancienne version et la nouvelle version au point de vue du travail de réflexion. Cette carte présente plusieurs dimensions, nous allons procéder dans notre analyse non pas par question de chaque texte de TP (TP04 et TP3), mais plutôt suivant chaque dimension de la carte d'analyse. Chaque dimension peut traiter différentes questions de l'ancienne et de la nouvelle version du TP3.

I.3.1. 1^{ère} dimension : Objectifs d'apprentissage

La première dimension de la carte traite des résultats espérés et plus précisément des objectifs d'apprentissage que nous pouvons trouver dans un texte de TP dans le but d'aider l'élève au niveau du contenu ainsi au niveau du processus d'apprentissage.

Tableau 84: Résultat de la 1^{ère} dimension

| A: Résultat espéré | | |
|---------------------------|-------------|------------|
| | TP04 | TP3 |
| 1 | X | X |
| 2 | X | X |
| 3 | X | X |
| 4 | X | X |
| 5 | | X |
| 6 | X | X |
| 7 | X | X |
| 8 | | |
| 9 | X | X |
| 10 | | X |
| 11 | | |

Légende :

| |
|---|
| 1 : Identifier des objets et des phénomènes et à se familiariser avec eux |
| 2 : Apprendre un ou des fait(s) |
| 3 : Apprendre un concept |
| 4 : Apprendre une relation |
| 5 : Apprendre une théorie/ modèle |
| 6 : Apprendre comment utiliser un instrument de laboratoire courant, ou installer et utiliser un dispositif expérimental classique |
| 7 : Apprendre comment exécuter un mode opératoire classique |
| 8 : Apprendre comment planifier une recherche pour s'attaquer à une question ou à un problème spécifique |
| 9 : Apprendre comment traiter les données |
| 10 : Apprendre comment utiliser des données pour appuyer une conclusion |
| 11 : Apprendre comment communiquer les résultats de leur travail |

A partir du tableau 84, nous pouvons constater que la différence entre l'ancien texte et le nouveau texte du TP réside au niveau du 5^{ème} objectif qui porte sur l'apprentissage d'une théorie ou d'un modèle et du 10^{ème} objectif qui indique si le texte du TP aide l'élève à apprendre comment utiliser des données pour appuyer une conclusion.

Lorsque nous examinons l'ancien texte et à partir des résultats de la 1^{ère} dimension (Tableau 84) de la carte, nous remarquons que dans ce TP il y a une absence quasi totale d'entraînement à la conception d'expériences dans le but de démontrer quelque chose.

Cependant, cet ancien texte du TP03, comme les quatre autres anciens textes ne montrent pas d'une manière très explicite l'enjeu de faire les différents calculs dans chaque dosage et quelle conclusion peut tirer l'étudiant à partir de ces calculs ? Bien

évidemment dans chaque séance de TP, l'apprenant doit apprendre à manipuler, ce qui est essentiel dans un enseignement expérimental, en vue de valider la théorie. Si nous penchons sur l'analyse des différentes questions se trouvant dans le texte du TP04 (chapitre méthodologie), nous pouvons constater qu'il s'agit uniquement des questions standard du niveau modèle numérique ce qui conduit l'étudiant à faire uniquement des mesures ou bien des calculs mathématiques, sans que les objectifs à atteindre soient fixés ou que les étudiants soient informés de leur utilité.

L'un des objectifs de l'enseignement des TP au 1^{er} cycle universitaire est d'amener l'étudiant à être vraisemblablement conscient des objectifs conceptuels et théoriques et peu des autres types d'objectifs tels que les objectifs de savoir-faire et de méthode (SÉRÉ & BENEY, 1997). Lors de la construction de notre séquence, notre objectif était d'amener l'étudiant à faire une réflexion sur le système chimique qu'il est entrain de manipuler, de construire son savoir à partir des questions guidées qui lui ont été posées. A partir de là que notre intervention a commencé dans la modification des différentes questions de réflexion.

Néanmoins, si nous prenons un exemple de comparaison de l'ancien texte TP04 et du nouveau texte du TP3, nous espérons montrer qu'à partir des questions de réflexion modifiées, l'étudiant est entrain d'apprendre une théorie ou un modèle et aussi d'apprendre comment utiliser des données pour appuyer une conclusion.

Nous présentons en premier lieu, la seule question qui existe dans l'ancienne version portant sur le dosage du carbonate de sodium par l'acide sulfurique:

Calculer : la normalité, la concentration molaire et le titre massique. Faire le calcul d'incertitude (Na= 23).

Par contre dans la nouvelle version du TP3, nous avons remplacé cette question par cinq autres questions afin de guider l'apprenant, par un certain nombre de connaissances disponibles dans le milieu au sens de BROUSSEAU (1998), à apprendre comment raisonner dans la résolution de la tâche et utiliser les données disponibles pour appuyer une conclusion :

La courbe possède 2 sauts de pH. A quoi correspondent-ils ? Justifier en donnant les 1. réactions mises en jeu.

Déterminer les coordonnées des points d'équivalence et retrouver ces valeurs par le 2. calcul.

Combien peut-on définir de zones tampon ? Pour chacune d'elles, préciser quelles 3. sont les entités chimiques responsables présentes.

Pourrait-on effectuer un tel dosage à l'aide d'indicateurs colorés ? Discuter. 4.

Si l'on avait dosé, non pas avec une solution d'acide sulfurique 0,05 mol.L⁻¹, mais 5. avec une solution aqueuse de CO₂ dissous 0,05 mol.L⁻¹, quelle aurait été la courbe de dosage. Pour répondre à cette question, il est nécessaire de recenser à chaque étape du dosage la nature des espèces en solution ainsi que leur concentration. Il est également vivement recommandé de trouver quelle est l'équation du dosage.

Dans le dosage d'une solution de carbonate de sodium, l'objectif d'apprentissage est de déterminer le comportement de cet dibase en solution aqueuse et la particularité d'un tel dosage par rapport aux dosages des acides.

Ceci montre les deux points de différence dégagés à partir de l'analyse entre les anciens textes et le nouveau.

I.3.2. 2^{ème} dimension : Caractéristiques de la tâche

I.3.2.1. 1^{ère} sous dimension : Ce que les élèves sont censés faire avec les Objets et les Observables

La deuxième dimension (Tableau 85) de la carte traite des caractéristiques de la tâche et se divise en cinq sous dimension.

La première sous dimension traite de ce que les élèves sont censés faire avec les objets et les observables, nous constatons à partir du tableau 85, qu'il n'y a pas de différence entre les anciens textes et le nouveau puisqu'ils traitent de la partie manipulation qui est presque identique.

Tableau 85 : Résultat de la 1^{ère} dimension

| B.1.1 Ce que les élèves sont censés faire avec les objets et les observables | | |
|---|-------------|------------|
| | TP04 | TP3 |
| 1 | X | X |
| 2 | X | X |
| 3 | X | X |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 10 | X | X |
| 11 | X | X |

Légende :

| |
|---|
| 1 : Utiliser un appareil d'observation ou de mesure 2 : Utiliser un appareil de laboratoire ou un montage 3 : Utiliser un protocole expérimental |
| 4 : Présenter un objet |
| 5 : Faire un objet 6 : Faire un matériau 7 : Faire un événement qui se produit |
| 8 : Observer un objet 9 : Observer un matériau 10 : Observer un événement 11 : Observer une quantité |

I.3.2.2. 2^{ème} sous dimension : Ce que les élèves sont censés faire avec les Idées

En revanche, la différence réside dans la 2^{ème} sous dimension (Tableau 86) lorsque nous analysons les textes du TP du point de vue ce que les élèves sont censés faire avec les idées. Cette différence se situe au niveau de la notation des observations, de l'étude de la relation entre les objets, de la relation entre des quantités physiques, de tester une prédiction à partir d'une théorie ou un modèle et au niveau des observations en les expliquant avec des termes d'une théorie ou d'un modèle.

Dans l'ancien texte du TP, les questions qui sont posées aux étudiants sont uniquement de types calculs et selon le codage de cette carte d'analyse, les étudiants vont étudier la relation entre des objets et des quantités physiques et déterminent la valeur d'une quantité qui n'est pas mesurée directement. Ce qui nous a amené, dans le nouveau texte du TP3, de commencer par une observation de la courbe du dosage, d'étudier les relations entre les entités chimiques et des grandeurs, de faire des prédictions.....

Tableau 86 : Résultat de la 2^{ème} sous dimension

| B1.2 Ce que les élèves sont censés faire avec les idées | | |
|--|-------------|------------|
| | TP04 | TP3 |
| 1 | | X |
| 2 | | |
| 3 | | X |
| 4 | | X |
| 5 | X | X |
| 6 | | |
| 7 | X | X |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 10 | | X |
| 11 | | |
| 12 | | X |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | |

Légende :

| |
|--|
| 1 : Noter des observations |
| 2 : Identifier une régularité |
| 3 : Etudier la relation entre des objets 4 : Etudier la relation entre des quantités physiques (variables) 5 : Etudier la relation entre des objets et des quantités physiques |
| 6 : Inventer (ou découvrir) un nouveau concept (une quantité physique ou une entité) |
| 7 : Déterminer la valeur d'une quantité qui n'est pas mesurée directement |
| 8 : Tester une prédiction à partir d'un essai 9 : Tester une prédiction à partir d'une loi 10 : Tester une prédiction à partir d'une théorie (ou un modèle basé sur le cadre théorique) |
| 11 : Rendre compte des observations termes d'une loi donnée 12 : Rendre compte des observations termes d'une théorie donnée (ou modèle) 13 : Rendre compte des observations en vue de proposer une loi 14 : Rendre compte des observations en vue de proposer une théorie (ou modèle) |
| 15 : Choisir entre deux (ou plusieurs) explications données |

I.3.2.3. 3^{ème} sous dimension : Tâche gouvernée par les Observations ou par les Idées ?

Concernant la troisième sous dimension (Tableau 87), celle-ci s'intéresse à la tâche qui peut être gouvernée soit par les observations soit par les idées. A partir de ce tableau, nous remarquons que dans l'ancien texte, il n'y a pas de relation claire entre ce que les élèves sont censés faire avec les idées et ce qu'ils sont censés faire avec les objets par contre dans le nouveau texte de TP, ce que les élèves sont censés faire avec les idées découle de ce qu'ils sont censés faire avec les objets et vis versa.

Pour montrer la différence entre les deux textes de TP, nous prenons comme exemple les questions relatives au dosage de la soude carbonatée :

Dans l'ancienne version, la seule question proposée aux étudiants ne leur montre pas la relation qui existe entre ce que leur demande l'enseignant de faire comme calcul et ce qui découle de ces calculs :

- Donner le résultat en normalité, concentration molaire et titre massique pour la soude et pour le carbonate de sodium. Faire un calcul d'incertitude.

A la fin de ces calculs, l'étudiant n'est pas en mesure de déduire la particularité d'un tel dosage.

Par contre, dans la nouvelle version, il y a une relation réversible entre les idées et les objets, visible dans les trois questions suivantes remplaçant celle qui existait auparavant :

Les solutions de soude réagissent avec le dioxyde de carbone présent dans 1.

l'atmosphère. Traduire cette carbonatation par une équation chimique. On justifiera la forme sous laquelle se retrouve le dioxyde de carbone dans la soude carbonatée.

Comment évolue le pH de la soude pendant la carbonatation ? 2.

Prévoir, en la justifiant, l'allure de la courbe de dosage, par un acide fort, d'une soude 3. partiellement carbonatée.

Lors de la construction de chaque TP, nous avons pris en considération les objectifs d'apprentissage relatifs à chaque dosage pour qu'il y ait enseignement et apprentissage à la fois : « (...) l'enseignement est la dévolution à l'élève d'une situation adidactique, correcte, l'apprentissage est une adaptation à cette situation » (BROUSSEAU, p.60, 1998).

Tableau 87: Résultat de la 3^{ème} sous dimension

| B.1.3 Tache gouvernée par les observations ou par les idées? | | |
|--|------|-----|
| | TP04 | TP3 |
| 1 | | X |
| 2 | | X |
| 3 | X | |

Légende :

| |
|---|
| 1 : Ce que les élèves sont censés faire avec les idées découle de ce qu'ils sont censés faire avec les objets ? |
| 2 : Ce que les élèves sont censés faire avec les objets découle de ce qu'ils sont censés faire avec les idées ? |
| 3 : Il n'y a pas de relation claire entre ce que les élèves sont censés faire avec les idées et ce qu'ils sont censés faire avec les objets |

I.3.2.4. 4^{ème} sous dimension : Degré d'ouverture ou de fermeture

Par contre, le tableau 88 traite de la 4^{ème} caractéristique qui évalue l'aspect de la tâche du TP et à qui revient l'initiative dans les différents aspects, soit imposée par l'enseignant, soit décidée par une discussion entre enseignant et élèves ou bien choisi par l'élève lui-même. A partir des analyses, nous constatons que pour les deux TP l'interprétation des résultats est à la charge de l'étudiant et les autres aspects sont imposés par l'enseignant.

Tableau 88 : Résultat de la 4^{ème} sous dimension

| B1.4 Degré d'ouverture ou de fermeture | | |
|---|-------------|------------|
| | TP04 | TP3 |
| 1 | a | a |
| 2 | a | a |
| 3 | a | a |
| 4 | a | a |
| 5 | c | c |

Légende :

| |
|--|
| 1 : La question à résoudre |
| 2 : L'équipement à utiliser |
| 3 : Le mode opératoire à suivre |
| 4 : Les méthodes de traitement des données recueillies |
| 5 : L'interprétation des résultats |
| a : Imposée par l'enseignant |
| b : Décidée par une discussion entre enseignant et élèves |
| c : Choisi par l'élève |

1.3.2.5. 5^{ème} sous dimension : Nature de l'implication de l'élève

Concernant la nature de l'implication de la tâche (Tableau 89), cette sous dimension ne donne pas une information originale lorsque nous analysons les textes de TP. Les étudiants sont supposés travailler généralement en des petits groupes et l'expérience réalisée par l'enseignant est à exclure.

Tableau 89 : Résultat de la 5^{ème} sous dimension

| B.1.5 Nature de l'implication de l'élève | | |
|---|-------------|------------|
| | TP04 | TP3 |
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | X | X |
| 4 | | |

Légende :

| |
|--|
| 1 : Expérience réalisée par l'enseignant, l'élève observe |
| 2 : Expérience réalisée par l'enseignant, l'élève observe et participe sous la direction de l'enseignant (par exemple en faisant des observations ou des mesures) |
| 3 : Expérience menée par les élèves en des petits groupes |
| 4 : Expérience menée par chaque élève seul |

I.3.3. 3^{ème} dimension : Contexte de la tâche

La troisième dimension de la carte décrit quelques caractères importants du contexte de la tâche lors de son exécution telles que la durée, les personnes avec qui l'élève interagit, les sources d'informations disponibles pour l'apprenant et le types d'appareils utilisés.

I.3.3.1. 1^{ère} sous dimension : Durée de la 1^{ère} sous dimension

La durée de la tâche (Tab ; 90) dépend du choix de l'institution et du département dans la gestion des horaires, à savoir que les anciens TP ont été programmés pour quatre heures et les nouveaux pour trois heures.

Tableau 90 : Résultat de la 1^{ère} sous dimension

| B.2.1 Durée | | |
|-------------|------|-----|
| | TP04 | TP3 |
| 1 | | |
| 2 | X | X |
| 3 | | |
| 4 | | |

Légende :

| |
|---|
| 1 : Très courte (20 minutes) |
| 2 : Courte (une séance jusqu'à 80 minutes) |
| 3 : Moyenne (2-3 leçons) |
| 4 : Longue (2 semaines ou plus) |

I.3.3.2. 2^{ème} sous dimension : Personnes avec qui l'élève interagit

Généralement, au niveau supérieur, les étudiants interagissent soit avec les autres élèves réalisant la même tâche de TP, soit avec l'enseignant. Cette sous dimension (Tab. 91) est identique que ce soit pour les anciens TP soit pour les nouveaux.

Tableau 91 : Résultat de la 2^{ème} sous dimension

| B.2.2 Personnes avec qui l'élève interagit | | |
|--|------|-----|
| | TP04 | TP3 |
| 1 | X | X |
| 2 | | |
| 3 | X | X |
| 4 | | |
| 5 | | |

Légende :

| | |
|---|---|
| 1 | : Autres élèves réalisant la même tâche de TP |
| 2 | : Autres élèves qui ont déjà fait cette tâche |
| 3 | : Enseignant |
| 4 | : Elèves plus avancés |
| 5 | : Autres (techniciens, ...) |

I.3.3.3. 3^{ème} sous dimension : Sources d'informations disponibles pour l'élève

A l'université, l'étudiant est en possession de plusieurs sources d'informations mis à part la feuille de TP telles que les livres, les notices d'appareils, les bases de données informatisées, etc.

Dans la plupart des cas, la feuille de TP est donnée à l'étudiant à l'avance, ce qui lui laisse le temps de la lire et d'avoir une idée sur ce que nous lui demandons de faire avant de l'entreprendre.

Le tableau ci-dessous (Tab.92) traite des moyens d'informations qui sont mis à la disposition de l'élève pendant une séance de TP.

Tableau 92 : Résultat de la 3^{ème} sous dimension

| B.2.3 Sources d'information disponibles pour l'élève | | |
|---|-------------|------------|
| | TP04 | TP3 |
| 1 | X | X |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |

Légende :

| | |
|----------|--|
| 1 | : Feuille de TP |
| 2 | : Livres |
| 3 | : Notices (des appareils), livre de données, ... |
| 4 | : Base de données informatisées |
| 5 | : Autres |

I.3.3.4. 4^{ème} sous dimension : Types d'appareils utilisés

La dernière sous dimension (Tab.93) montre que l'équipement de laboratoire standard est le plus commun des matériels utilisés.

Tableau 93 : Résultat de la 4^{ème} sous dimension

| B.2.4 Type d'appareils utilisés | | |
|---------------------------------|------|-----|
| | TP04 | TP3 |
| 1 | X | X |
| 2 | | |
| 3 | | |

Légende :

| |
|---|
| 1 : Equipement de laboratoire standard |
| 2 : Equipement de laboratoire standard interfacé à un ordinateur |
| 3 : Equipement de la vie quotidienne (balance de cuisine, matériaux ou équipements domestiques) |

A partir de l'analyse des deux textes de TP (TP04 et TP3) par l'intermédiaire de la carte, nous avons montré que nos modifications portent essentiellement dans la construction des différentes questions de réflexion permettant à l'étudiant à mieux réfléchir sur le système chimique et essentiellement « le milieu » doit lui fournir des connaissances nécessaires pour la réussite de la tâche. Il est possible de dégager à partir de l'analyse par le biais de la carte, une image de ce que devrait être un texte de travaux pratiques : les activités proposées aux étudiants devraient être en accord avec les objectifs d'apprentissage et devraient contribuer de façon importante au développement cognitif des étudiants.

II. Connaissances en jeu dans le TP3

Cette partie illustre les objectifs d'apprentissage que nous avons visé lors de la construction de ce TP, ainsi que les connaissances mises en jeu pour un dosage d'une dibase et d'un mélange de bases.

II.1. Objectifs d'apprentissage

Notre principal objectif d'apprentissage dans ce TP, qui est le même pour les deux autres TP (TP1 et TP2), est à la base des objectifs visés dans les TP SOC et du projet « Labwork in Science Education ». De ce fait, nous voulons aider les étudiants à mettre en relation la théorie et les objets et événements reconstruits.

En d'autres termes, le TP3 a pour objectif de faire prendre conscience aux étudiants, après examen des données et des résultats expérimentaux de la nécessité de la mise en évidence de la réaction acido-basique lors de deux dosages différents telles que le dosage d'une dibase et d'un mélange de bases. Il s'agit également de les amener à déduire le comportement du carbonate de sodium et de la soude carbonatée en solution aqueuse en se basant sur un raisonnement utilisant des objets (les différentes entités chimiques en solution) et des événements reconstruits (les réactions acido-basiques relatives à chaque dosage).

II.2. Connaissances mises en jeu

Ce TP ne se situe pas entièrement dans une perspective classique d'enseignement. Il s'agit d'une rénovation de l'enseignement expérimental, qui consiste en une mise au point de manipulations et de questions de réflexions plus ou moins originales et inhabituelles pour les étudiants.

De la même manière que les deux nouveaux TP précédents, les activités demandées aux étudiants dans ce TP sont de deux ordres:

- Expérimentales puisqu'il s'agit en premier lieu de mener correctement l'expérience en suivant les consignes écrites dans le texte par le chercheur ;
- Conceptuelles puisque nous visons à ce que les étudiants construisent le concept de réaction acido-basique présent dans la plupart des questions. Cependant, la particularité de ce TP, est que l'étudiant doit confirmer ou infirmer une prédiction effectuée préalablement.

Dans ce 3^{ème} TP, l'étudiant est amené tout d'abord à réaliser deux types de dosage. Dans chaque partie du TP, l'étudiant doit mettre en évidence la réaction acido-basique dans chacune des questions. Avec les termes de notre cadre théorique, l'étudiant doit repérer un événement reconstruit (réaction chimique) à toute une classe de situations, puis de faire des liens entre caractères perceptibles et des grandeurs mesurables, qui sont les mêmes modalités d'activité dans tout le TP.

III. Résultats des productions écrites et verbales

L'objectif de cette partie est de faire une analyse des productions écrites et verbales des étudiants, relatives aux questions posées dans la nouvelle version du TP3. Dans ce chapitre, nous n'allons pas procéder à une comparaison entre l'ancienne version du TP3 et celle de la nouvelle version, étant donnée que les questions des deux versions ne sont pas les mêmes.

Nous allons procéder au début, par une analyse des réponses écrites des binômes aux questions qui nous semblent pertinentes pour notre recherche. Cette analyse va permettre de dégager les réponses aux questions suivantes :

- Quelles sont les difficultés qui ressortent de la nouvelle version du TP3 ?

Ensuite, nous allons donner une validation interne du nouveau TP par le biais des résultats des transcriptions de l'étude de cas. Il s'agit dans cette dernière partie de, spécifier certaines caractéristiques de l'activité d'un binôme enregistré à partir de l'analyse des transcriptions de dialogues lors de la de la réalisation du TP3.

Cette analyse, en comparaison avec l'analyse *a priori*, fournit les premiers éléments de réponses aux questions suivantes:

- Quelles sont les connaissances prises en compte par le binôme ? y-a-t-il eu

dévolution ?

- Comment ces connaissances sont-elles mises en œuvre ?
- Est-ce que les relations établies par le binôme, entre les informations appartenant aux différents niveaux de connaissances, favorisent l'apprentissage et la construction du sens du concept de réaction acido-basique lors de la réalisation d'une tâche ?

III.1. Résultats de la 1^{ère} question

Cette première question est proposée aux étudiants tout juste après avoir préparé la solution de carbonate de sodium.

La question adressée aux étudiants était la suivante :

Calculer le pH de cette solution.

L'objectif d'apprentissage de cette question, est de voir si les étudiants se rendent compte de la particularité de ce dosage avant de commencer les mesures.

Cette question sera analysée à partir de la production écrite de 40 binômes suivant la même grille d'analyse.

III.1.1. Résultats concernant les productions écrites

Nous avons recensé uniquement 3 réponses relatives à cette question sur une totalité de 40 binômes. Parmi ces 3 réponses, aucune d'elles n'est correcte du point de vue du savoir savant :

Copie 21 : *calcul du pH :



$$K_{a1} = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CO}_2]}$$

$$K_{a2} = \frac{[\text{CO}_3^{2-}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HCO}_3^-]} \text{ or } [\text{HCO}_3^-] = \frac{[\text{CO}_3^{2-}][\text{H}_3\text{O}^+]}{K_{a2}}$$

$$\text{D'où } K_{a1} = \frac{[\text{CO}_3^{2-}][\text{H}_3\text{O}^+]^2}{K_{a2}[\text{CO}_2]}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+]^2 = K_{a1}K_{a2} \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{CO}_3^{2-}]}$$

$$2 \log[\text{H}_3\text{O}^+] = \log K_{a1} + \log K_{a2} + \log[\text{CO}_2] - \log[\text{CO}_3^{2-}]$$

$$2\text{pH} = \text{p}K_{a1} + \text{p}K_{a2} - \log[\text{CO}_2] + \log[\text{CO}_3^{2-}]$$

$$\text{pH} = \frac{1}{2}(\text{p}K_{a1} + \text{p}K_{a2} - \log[\text{CO}_2] + \log[\text{CO}_3^{2-}])$$

or au début de la réaction $[\text{CO}_2] \ll [\text{CO}_3^{2-}]$

$$\text{d'où } \text{pH} = \frac{1}{2}(\text{p}K_{a1} + \text{p}K_{a2} + \log[\text{CO}_3^{2-}])$$

Pour la copie 21, le binôme correspondant n'arrive pas à déterminer le pH de la solution puisqu'il n'a pas compris qu'il s'agit d'une solution de base faible. Il commence par écrire les équations des réactions qui se trouvent dans le texte de TP, puis par écrire des relations lui permettant de faire des calculs. Or il ne se rend pas compte que la réaction acido-basique n'a pas eu encore lieu, étant donné qu'il n'a pas commencé le

dosage. Il doit écrire l'équation de la réaction d'ionisation (événement reconstruit) de Na_2CO_3 dans l'eau, puis la propriété reconstruite du carbonate de sodium.

Copie 25 : $C = n/V$ donc $n=CV$

$m=nM$ d'où $m=CVM$ $\text{pH}=1/2(\text{pKa}_1+\text{pKa}_2)$

Concernant la copie 25, ce binôme présente la formule du pH d'une espèce amphotère en solution. Nous supposons que la réponse de ce binôme est due au fait que, nous avons donné dans le texte du TP la propriété de l'ion hydrogénocarbonate : « *L'ion hydrogénocarbonate qui est à la fois la forme acide d'un couple et la forme basique d'un autre couple est appelé amphotère* ».

Généralement, l'apprenant utilise dans ses réponses, les données qui se trouvent dans le texte qui lui est proposé.

Copie 35 : $C=n/V$ $n=CV$ or $n=m/M$ ainsi $m=CVM$

*calcul de pH : $n=m/M$ d'où $C=nV$

$\text{pH} = -\log C$

Pour cette dernière réponse (copie 35), le binôme ne se rend même pas compte qu'il s'agit d'une solution basique puisqu'il présente la formule du pH d'une solution acide.

A partir de ces 3 réponses, nous pouvons dire que, dès le départ, ce type de dosage présente une difficulté d'apprentissage pour les apprenants. La difficulté des étudiants se manifeste au niveau du système chimique, c'est-à-dire qu'ils n'arrivent pas à identifier les entités chimiques présentes en solution.

De même, la deuxième difficulté se présente dans la détermination de la grandeur pH, qui confirme le résultat de l'étude faite par ROSS & al. (1991), montrant que les apprenants comprennent difficilement que le pH puisse mesurer la basicité.

III.1.2. Résultats concernant les productions verbales

Dans cette partie, nous allons valider les résultats trouvés dans cette première question, par une étude sur la production verbale du binôme enregistré. L'analyse de la transcription va permettre de nous représenter l'activité cognitive du binôme lors de la résolution des tâches.

Dans notre analyse des données de la transcription, nous allons prendre aussi en considération les différents types de relations, c'est-à-dire que la mise en relation peut être interne à un niveau de connaissance ou entre niveaux différents dans ce cas nous l'appelons relation externe. Ce type d'analyse nous permet de déterminer la démarche de la construction des connaissances du binôme.

A partir des transcriptions des dialogues du binôme enregistré lors de la réalisation du TP3, nous avons regroupé dans un tableau les grandes phases de résolution des différentes tâches qui vont nous permettre de mieux lire les transcriptions.

Tableau 94 : Récapitulatif sur les différentes phases de l'activité du binôme telle que nous les trouvons à partir de la transcription

| Numéros d'interventions | Caractéristiques des différentes phases | Questions traitées |
|--|---|---------------------------------------|
| 1 – 3 4 – 6 7 – 33 34 – 49 50 – 62 63 – 88 | Lecture du texte correspondant à la préparation d'une solution de carbonate de sodium Lecture de la question 1 Calcul de la masse du carbonate de sodium Relecture du texte de la question Ecriture de l'équation d'ionisation de Na_2CO_3 Calcul du pH | Question 1 |
| 88 – 97 98 – 113 114 – 119 | Lecture du texte du 1 ^{er} dosage Réalisation de l'expérience et traçage de la courbe Détermination des entités qui ont servi au dosage | 1 ^{er} dosage |
| 120 – 123 124 – 134 | Lecture de la question 2 Réponse à la question 2 | Question 2 |
| 135 – 137 138 – 155 156 – 169 | Lecture de la question 3 Ecriture des relations qui permettent de déterminer les coordonnées des points d'équivalences Application numérique | Question 3 |
| 169 – 171 173 – 180 | Lecture de la question 4 Réponse à la question 4 | Question 4 |
| 181 | Réponse à la question 5 | Question 5 |
| 182 183 – 185 | Lecture de la question 6 Réponse à la question 6 | Question 6 |
| 186 – 192 193 – 204 | Lecture du texte du 2 ^{ème} dosage Réponse à la question 1 | 2 ^{ème} dosage Question 1 |
| 205 206 – 211 | Lecture de la question 2 Réponse à la question 2 | Question 2 |
| 211 – 213 214 – 218 219 - 220 | Lecture de la question 3 Réflexion sur la question Réponse à la question 3 | Question 3 |
| 221 – 254 255 256 – 267 | Réalisation du dosage volumétrique Lecture de la question 4 Réponse à la question 4 | Question 4 |
| 268 – 298 299 300 - 305 | Réalisation du dosage pH-métrique Lecture de la question 5 Réponse à la question 5 | Question 5 |
| 305 306 – 307 | Lecture de la question 6 Réponse à la question 6 | Question 6 |
| 307 308 – 327 | Lecture de la question 7 Réponse à la question 7 | Question 7 |
| 327 328 – 333 334 – 336 337 – 348 | Lecture de la question 8 Réflexion sur la question Application de la relation à l'équivalence Application numérique | Question 8 |

Dans l'analyse de chacune des questions, nous allons compter pour chaque intervention les propositions qui mettent en jeu soit un seul niveau de connaissance, soit un niveau au sein duquel il n'y a que des relations internes, soit les relations entre les

niveaux (relation externe).

Nous récapitulerons, par la suite, sous forme de tableau la comparaison entre l'analyse *a priori* et celle de l'activité du binôme.

Dans sa réponse à la 1^{ère} question, le binôme enregistré utilise le niveau événement du monde reconstruit qui est parfois en relation avec le niveau objet du même monde. La réaction chimique est mise en jeu selon sa représentation symbolique qui est l'équation chimique.

Pour répondre à cette question, l'étudiant mobilise soit des liens internes au monde reconstruit, soit des liens externes au monde soit, il mobilise des liens sans relations.

Le tableau ci-dessous illustre la fréquence de l'utilisation de chacun des niveaux de connaissances et le type de relation existant entre eux.

Tableau 95 : Niveaux de connaissances et types de liens mis en oeuvre dans la transcription

| Sans relation [G] [o] [p] [M.num] | | | | Relation externe [G ; M.num] | Relation interne [o; é] [o; p] | |
|-----------------------------------|---|---|---|------------------------------------|-----------------------------------|---|
| 3 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : Grandeur

[M.num] : Modèle numérique

Ce tableau (Tab.95) montre que les niveaux grandeurs et modèle numérique sont les plus utilisés dans la production verbale de ce binôme en tant que niveau sans relation ou bien en relation externe. De même, les deux mises en relation les plus utilisées par ce binôme sont de type internes puisqu'elles se font d'une manière fréquente entre l'événement et l'objet du monde reconstruit.

Nous constatons, d'après ce tableau, que calculer le pH de la solution nécessite la mise en oeuvre du lien entre l'événement reconstruit et les objets reconstruits ainsi que la propriété reconstruite.

Toutefois, pour répondre à cette première question, le binôme enregistré commence par donner la réaction d'ionisation du carbonate de sodium Na_2CO_3 dans l'eau et la réaction d'autoprotolyse de l'eau :

Nader-52 : On a / on a l'Na Na_2CO_3 donne Na^+ plus O_3^{2-} - H_2O donne H^+

Taoufik-53 : □ plus OH^-

Par la suite, le binôme présente la réaction de dissociation de l'ion

hydrogénocarbonate HCO_3^- :

Nader-54 : □ plus OH- donc on remarque que l'équation correspond à celle à celle de HCO_3^- plus

Taoufik-55 : □ H_2O

Nader-56 : H_2O qui donne

Taoufik-57 : □ CO_3^{2-}

Nader-58 : CO_3^{2-}

Taoufik-59 : plus H_3O^+

A partir de cette équation de la réaction, le binôme détermine le pH de la solution en écrivant la relation du pH d'une solution d'acide faible :

Nader-66 : Virgule 3 / pH / est égal $\frac{1}{2} \text{pKa} - \log \text{ de C}$

A partir de la transcription, nous dégagons les conclusions suivantes :

- Le binôme enregistré n'arrive pas à déterminer la propriété reconstruite de la solution du carbonate de sodium qu'il a préparé, afin de lui permettre de calculer le pH de la solution.
- La réponse à la question est considérée comme fausse :

Nader-66 : Virgule 3 / pH / est égal $\frac{1}{2} \text{pKa} - \log \text{ de C}$

Bien que ce binôme a utilisé le niveau de l'événement reconstruit dans ses réflexions, sa réponse demeure incorrecte puisqu'il présente des difficultés dans la détermination des entités chimiques présentes en solution, ainsi que la propriété reconstruite.

Nous présentons dans le tableau (Tab.96) qui suit, une comparaison entre les niveaux de connaissances mis en jeu dans l'analyse *a priori*, pour avoir une réponse acceptable du point de vue du savoir savant et l'activité réelle du binôme enregistré :

Tableau 96 : Comparaison entre l'analyse a priori et l'activité du binôme

| Analyse <i>a priori</i> | Activité du binôme |
|-----------------------------|-----------------------------|
| [o ; é] [o ; p] [G ; M.num] | [o ; p] [o ; é] [G ; M.num] |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

[M.num] : modèle numérique

A partir de ce tableau, nous constatons que les liens présents dans l'analyse *a priori* sont les mêmes utilisés par le binôme dans la résolution du problème. Cependant, malgré que ces liens existent la réponse du binôme est considérée fausse, vu que ce dernier n'a

pas pu déterminer la relation adéquate du pH de la solution.

III.1.3. Conclusion

Cette première question se situe dans le TP3 avant de réaliser le premier dosage. L'objectif d'apprentissage d'une telle question, était de permettre aux étudiants de se rendre compte de la particularité de la solution de carbonate de sodium avant de commencer le dosage.

A partir des résultats des productions écrites ainsi que les productions verbales, nous constatons que les apprenants présentent des difficultés pour le calcul du pH de la solution de carbonate de sodium. Cette difficulté se présente dans la non identification, par les étudiants, de la propriété reconstruite (dibase) de la solution qu'ils ont préparé ainsi que les objets reconstruits (les entités chimiques présentes en solution). Bien que le texte du TP présente la propriété de l'ion carbonate, les apprenants ne parviennent pas à faire ressortir les indications valables pour répondre à cette première question.

III.2. Résultats de la 2^{ème} question

A partir de cette deuxième question, l'étudiant doit être capable de décrire la courbe en faisant correspondre à chaque saut de pH, le dosage chaque entité correspondante.

La question posée aux étudiants est la suivante :

La courbe possède 2 sauts de pH. A quoi correspondent-ils ? Justifier en donnant les réactions mises en jeu.

III.2.1. Résultats concernant les productions écrites

Nous avons codé les réponses des 40 binômes suivant la grille d'analyse décrite dans le cadre théorique. Le tableau ci-dessous (Tab.97), illustre les différents types de liens utilisés par les binômes dans leur réponse.

Tableau 97 : Répartition de la fréquence des types de liens dans les copies

| Types de liens entre les niveaux de connaissances | Fréquence d'apparition dans les copies |
|---|--|
| [M.géo ; E] | 33 |
| [o ; é] | 30 |
| [E ; é] | 16 |
| [p ; o] | 11 |
| [E; p] | 10 |
| [é; p] | 8 |
| [é; G] | 4 |
| [M.géo ; é] | 3 |
| [E ; G] | 2 |
| [p ; G] | 1 |
| [G ; o] | 1 |
| [E ; o] | 1 |
| [E ; O] | 1 |
| [O; p] | 1 |
| [M.géo ; p] | 1 |
| Pas de réponse | 1 |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

[E] : événement perceptible

[O] : objet perceptible

[M.num] : modèle numérique

[M.géo] : modèle géométrique

Ce tableau montre que les étudiants utilisent fréquemment le niveau événement reconstruit dans leurs réponses. Il est en lien avec cinq autres niveaux de connaissances :

- L'événement reconstruit (réaction chimique) est en lien avec les objets reconstruits (entités chimiques) :

Copie 2 : La courbe de dosage de Na_2CO_3 possède 2 sauts de pH

- un saut correspond au point d'équivalence E1(9,3 ; 8,3) dont laquelle la solution est basique. La réaction mise en jeu : $\text{Na}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons 2\text{Na}^+ + \text{CO}_3^{2-}$
- une deuxième saut correspond au point d'équivalence E2(4,8 ; 18,9) dont laquelle la solution devient acide. La réaction mise en jeu : $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{HSO}_4^- + \text{H}^+$

Copie 6 : D'après la courbe il apparaît deux sauts :

*1er saut correspond à la première équivalence (formation basique)

*2ème saut correspond à la deuxième équivalence (formation acide)

Les réactions mises en jeu sont : $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$

La réaction de dosage est : $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}$ Avec Na^+ et SO_4^{2-} sont des ions inertes

Ces étudiants n'arrivent pas à faire correspondre à chaque saut de pH, le dosage de l'entité chimique correspondante. La difficulté des étudiants se présente dans la distinction entre, les entités chimiques présentes dans la solution à doser qui vont réagir avec les entités chimiques présentes dans la solution titrante.

Bien que le lien entre l'événement et les objets reconstruits existe, la réponse demeure fautive puisque les étudiants présentent des difficultés dans la détermination des entités chimiques réagissant ensemble.

- L'événement reconstruit (réaction acido-basique) est en lien avec l'événement perceptible (saut de pH) :

Copie 14 : Il y a deux points d'équivalence : il y a deux sauts de pH.

*le 1er correspond à la $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$

*le 2ème saut correspond à la $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+$

Copie 15 : La courbe possède deux sauts de pH :

*le 1er saut correspond à l'équation : $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$

*le 2ème saut correspond à l'équation $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+$

Pareille aux deux autres binômes, ces étudiants présentent des difficultés dans la détermination de la réaction acido-basique mises en jeu, ils se limitent à reprendre les 2 équations de réactions présentes dans le texte de TP.

- L'événement reconstruit (réaction acido-basique) est en lien avec une propriété reconstruite (1^{ère} basicité et 2^{ème} basicité) :

Copie 20 : D'après la courbe il y a 2 sauts de pH correspond aux deux basicités de Na_2CO_3 .

*1ère basicité : l'équation de réaction : $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$

*2ème basicité : l'équation de la réaction : $\text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

Pour la copie 20, le binôme correspondant présente une réponse acceptable du point de vue du savoir savant puisque ce dernier a présenté la propriété reconstruite du carbonate de sodium, tout en faisant correspondre à chaque saut de pH, la réaction acido-basique correspondante. Ce binôme a utilisé dans sa démarche les niveaux de connaissances qui doivent être présents pour avoir une réponse acceptable du point de vue du savoir savant.

Copie 22 : Les deux sauts de pH correspondent aux deux acidités :

*la 1ère acidité correspond à la réaction : $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$

*la 2ème acidité correspond à la réaction : $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+$

Par contre pour la copie 22, ce binôme n'arrive pas à distinguer la différence entre un acide et une base, bien que dans le texte du TP nous mentionnons que « l'ion carbonate CO_3^{2-} est donc une dibase ».

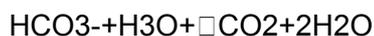
L'événement reconstruit (équivalence ou point d'équivalence) est en lien avec une grandeur (volume ou nombre de moles) :

Copie 13 : La courbe possède 2 sauts de pH :

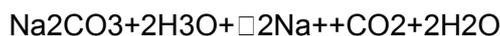
*1er saut le volume entre 12mL et 25mL on a le point d'équivalence.

*2ème saut le volume entre 0 et 12mL on a le point de $\frac{1}{2}$ équivalence : $\frac{1}{2} V_{\text{éq}} = V$ et $\text{pH} = \text{pK}_a$

Copie 25 : Na_2CO_3 est une dibase, elle réagit en présence d'un acide en deux étapes :



Equation de la réaction du dosage :



la courbe de neutralisation de Na_2CO_3 par H_2SO_4 présente deux sauts :

*1er saut de pH on a neutralisation de 1ère basicité qui lui correspond du valeur $V_1 = 10,3\text{mL}$



A l'équivalence on a $n\text{OH}^- = n\text{H}^+$

Le binôme 13 ne présente aucune justification à sa réponse, il se contente de délimiter le saut de pH. Par contre le binôme 25 justifie sa réponse en utilisant des niveaux de connaissances appartenant au monde reconstruit.

L'événement reconstruit (réaction chimique ou point d'équivalence) est en lien avec le modèle géométrique (courbe du dosage) :

Copie 11 : La courbe possède 2 sauts de pH.

Les équations de dissolution de Na_2CO_3 et H_2SO_4 dans l'eau :



La première partie de la courbe correspond à l'équation $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-$ donc au

premier point d'équivalence tous les ions CO_3^{2-} sont transformés en HCO_3^- ;

la deuxième partie correspond à l'équation : $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$ donc au deuxième point d'équivalence on a tous les ions HCO_3^- sont transformés en H_2CO_3 , après le 2ème point d'équivalence on a une solution d'acide faible H_2CO_3

La difficulté du binôme 11 se présente dans la détermination des couples acide/base, l'acide correspondant à la base HCO_3^- est l'acide CO_2 et non pas H_2CO_3 . Nous retrouvons dans ce cas là les conceptions des apprenants relatives aux couples acido-basiques (SCHMIDT, 1995).

Copie 33 : La courbe possède 2 sauts de pH, en effet c'est un dosage de Na_2CO_3 de bicarbonate de sodium à l'aide de l'acide H_2SO_4 . ainsi la courbe correspond à deux points d'équivalences E1 et E2

*pour $0 < V < V_1$: (E1) l'équation est : $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$

*pour $V_1 < V < V_2$ (E2) : l'équation est $\text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

$\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$

Par contre le binôme 33, fait correspondre à chaque point d'équivalence l'équation chimique correspondante à la réaction du dosage de chaque entité présente en solution.

Dans cette question, nous avons recensé uniquement 7 (17,5%) réponses correctes du point de vue du savoir savant.

Copie 19 : La courbe possède 2 sauts de pH.

*1er saut correspond à la 1ère basicité : $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$

*2ème saut correspond à la 2ème basicité : $\text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

Copie 20 : D'après la courbe il y a 2 sauts de pH correspond aux deux basicités de Na_2CO_3 .

*1ère basicité : l'équation de réaction : $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$

*2ème basicité : l'équation de la réaction : $\text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

Copie 21 : La courbe possède 2 sauts de pH :

*le premier saut correspond à la première basicité tel que sa réaction s'écrit :

$\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$

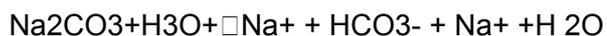
*le deuxième saut correspond à la deuxième basicité tel que sa réaction s'écrit :

$\text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

Dans les copies 19, 20 et 21, les étudiants mobilisent des liens internes du monde reconstruit tel que le lien entre la propriété et l'événement puis le lien entre les objets reconstruits et l'événement reconstruit. Nous constatons que l'utilisation des niveaux de connaissances du monde reconstruit sont indispensables à la réussite de cette tâche.

Copie 23 : La courbe possède deux sauts de pH :

*1er saut : au niveau du 1er saut il y a neutralisation du 1ère basicité qui lui correspond à $V_1 = 11,3\text{mL}$

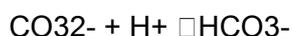


*2ème saut : la neutralisation du 2ème basicité du carbonate de sodium qui lui correspond à $V_2 = 22,9\text{mL}$

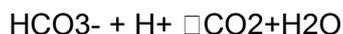


Copie 32 : La courbe est composée par 2 sauts de pH, ce qui explique que le 1er point d'équivalence : $V_{\text{eq}1} = 11,2\text{mL}$ et $\text{pH} = 8,3$

$V_{\text{eq}1}$: c'est le volume nécessaire pour la neutralisation de la 1ère basicité



$V_{\text{eq}2}$ correspond au volume nécessaire pour la neutralisation de la 2ème basicité :



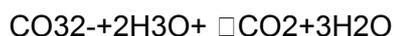
2ème point d'équivalence : $\text{pH} = 4,55$ et $V_{\text{eq}2} = 21,5\text{mL}$

Pour les copies 23 et 32, les liens cités ci-dessus (objets, événement et propriétés du monde reconstruit) sont utilisés par ces deux binômes tout en rajoutant le lien avec la grandeur (volume à l'équivalence).

Copie 33 : La courbe possède 2 sauts de pH, en effet c'est un dosage de Na_2CO_3 de bicarbonate de sodium à l'aide de l'acide H_2SO_4 . ainsi la courbe correspond à deux points d'équivalences E1 et E2

*pour $0 < V < V_1$ (E1) l'équation est : $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$

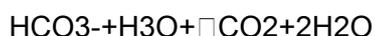
*pour $V_1 < V < V_2$ (E2) : l'équation est $\text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$



Pour le binôme 33, ce dernier fait correspondre à chaque point d'équivalence une équation de la réaction correspondante. Nous supposons que pour ce binôme que la réaction du dosage se passe au niveau du point d'équivalence, ce qui rejoint nos résultats du chapitre « *Comparaison entre dosage pH-métrique et dosage conductimétrique* ».

Copie 34 : D'après la courbe, on observe deux sauts de pH qui correspond à deux réactions de dosage :

Le 1er saut de la courbe correspond à la neutralisation des ions H_3O^+ qui sont captés par les ions CO_3^{2-} par contre le 2ème saut de la courbe correspond à la neutralisation des ions H_3O^+ qui sont captés par les ions HCO_3^-



Concernant le binôme 34, il fait correspondre correctement à chaque saut de pH

l'événement et les objets reconstruits correspondants. Par la suite ce binôme écrit une troisième équation de réaction qui montre la difficulté de ces deux étudiants dans la détermination des couples acido-basiques.

A partir des analyses des productions écrites, nous constatons que les difficultés des apprenants apparaissent principalement pour cette 2^{ème} question au niveau de la détermination des entités chimiques présentes dans le système réactionnel (obstacle relatif au registre microscopique) et au niveau de la détermination des couples acido-basiques (conception concernant la théorie de BRONSTED).

III.2.2 Résultats concernant les productions verbales

Le tableau ci-dessous (Tab.98), montre les niveaux de connaissances mobilisés par le binôme pour répondre à la deuxième question.

Tableau 98 : Niveaux de connaissances et types de liens dans la transcription

| Sans relation [E] [p] [é] | | | Relation interne [o ; é] | Relation externe [M.géo ; E] [E ; p] | | |
|---------------------------|---|---|--------------------------|--------------------------------------|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[o] : objet reconstruit

[E] : événement perceptible

[O] : objet perceptible

[M.géo] : modèle géométrique

Ce tableau montre que le binôme enregistré utilise équitablement les niveaux de connaissances sauf le lien entre l'objet reconstruit et l'événement reconstruit, qui est utilisé deux fois dans sa démarche.

Nader-129 : $\text{NaOH} \text{ égal } \text{Na}^+ \text{ plus } \text{OH}^-$ « bruit » / Na_2CO_3 donne 2Na^+ plus CO_3^{2-}
 $2\text{H}_2\text{SO}_4$ plus 2H^+ taatina (nous donne) plus Na_2CO_3 2HSO_2^- plus $2\text{H}_2\text{O}$ 2Na^+ plus CO_3^{2-}
 équation / justifier donner les ré (::)

Nader- 133 : On a / H_2SO_4 plus 2H^+ donne 2HSO_2^- plus $2\text{H}_2\text{O}$ Na_2CO_3 donne 2Na^+ plus CO_3^{2-}
 l'équation $2\text{H}_2\text{SO}_4$ plus 2H^+ plus Na_2CO_3 donne 2HSO_2^- / 2^- plus $2\text{H}_2\text{O}$ / plus 2Na^+ plus CO_3^{2-}

Cependant, ce binôme présente des difficultés à faire correspondre à chaque saut de pH, la réaction du dosage correspondante. En plus, dans l'écriture de ces deux équations de réactions, nous remarquons que ce binôme n'arrive pas à écrire correctement les entités chimiques présentes dans les réactions acido-basiques comme CO_3^- et 2HSO_2^- .

Le tableau suivant (Tab.99), illustre la comparaison entre l'analyse *a priori* et celle de l'activité du binôme.

Tableau 99 : Comparaison entre l'analyse *a priori* et l'activité du binôme

| Analyse <i>a priori</i> | Activité du binôme |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| [M.géo ; E] [E ; o] [o ; é] | [M.géo ; E] [E ; p] [O ; p] [o ; é] |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[E] : événement perceptible

[O] : objet perceptible

[M.géo] : modèle géométrique

Bien que nous ayons considéré, dans l'analyse *a priori*, des mises en relations minimales afin de fournir une réponse acceptable du point de vue du savoir savant, le binôme enregistré ne parvient pas à fournir une réponse correcte du point de vue du savoir savant, étant donné qu'il présente une difficulté à identifier les entités chimiques qui interviennent dans les réactions du dosage.

III.2.3. Conclusion

Nous avons recensé, pour cette deuxième question, uniquement 7 bonnes réponses, ce qui montre considérablement les difficultés des étudiants face au dosage d'une dibase.

Ces difficultés se manifestent essentiellement dans l'écriture des équations de réactions du dosage et aussi dans la détermination des couples acido-basiques.

Par contre, pour le binôme enregistré, nous remarquons qu'il n'y a pas eu de dévolution étant donnée que ce binôme présente une difficulté à distinguer les différentes entités chimiques réagissant ensemble.

III.3. Résultats de la 3^{ème} question

Cette question permet aux étudiants de retrouver les coordonnées des points d'équivalence par le biais de calculs. Cette question est en étroite relation avec celle qui la précède, étant donnée que l'étudiant a besoin, pour faire des calculs, de connaître les différentes entités chimiques se trouvant à l'équivalence.

La 3^{ème} question est présentée de la manière suivante :

Déterminer les coordonnées des points d'équivalence et retrouver ces valeurs par le calcul.

III.3.1. Résultats concernant les productions écrites

Les réponses des 40 binômes sont regroupées dans le tableau (Tab.100), illustre les différents types de liens utilisés par les binômes dans leur réponse à cette question.

Tableau 100 : Répartition de la fréquence des types de liens dans les copies

| Types de liens entre les niveaux de connaissances | Fréquence d'apparition dans les copies |
|---|--|
| [M.géo ; G] | 32 |
| M.num | 14 |
| [é ; M.num] | 9 |
| [G ; é] | 6 |
| [o ; é] | 6 |
| [p ; é] | 4 |
| [p ; o] | 3 |
| [G ; o] | 2 |
| [E ; M.num] | 2 |
| [E ; p] | 2 |
| [G ; M.num] | 1 |
| [E ; G] | 1 |
| [M.géo ; E] | 1 |
| [é ; O] | 1 |
| Pas de réponse | 5 |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

[O] : objet perceptible

[E] : événement perceptible

[M.num] : modèle numérique

Nous constatons, d'après le tableau ci-dessus, que les deux premiers types de relations sont les plus fréquemment utilisés par les binômes puisque la question posée dans le texte du TP, mentionne les niveaux de connaissances mobilisés par les apprenants.

Le tableau 100, montre que le niveau de l'événement reconstruit est utilisé dans le raisonnement de l'apprenant en lien avec cinq niveaux de connaissances :

- L'événement reconstruit (l'équivalence) est en lien avec le modèle numérique (calcul) :

Copie10 : A(pH1=10 ; Vb1=8,3) B(pH2=5 ; VB2=19,1)

A l'équivalence on a $CaVa=CbVb$ $Cb=CaVa/Vb$

$$pH_2 = 1/2(pK_{a1} - \log C_b V_b / V_{a1})$$

Copie 12 : D'après la courbe au point d'équivalence des deux courbes $pH=7,2$ a un volume $V_E=7$ or pH au point de $1/2$ équivalence on a $pH=9,8$ et $1/2V_E=3,5mL$ or à l'équivalence on a $CaVa=CbVb$

L'événement reconstruit (point d'équivalence ou l'équivalence) est en lien avec une grandeur (concentration ou volume ou pH) :

Copie 1 : Les coordonnées de point d'équivalence $Eq_1(pH_1=8,5 ; V_{1aj}=9,8mL)$

$$Eq_2(pH_2=5,7 ; V_{2aj}=19,7)$$

La concentration CB au 1er point d'équivalence :

$$\text{Au point d'équivalence on a } CAVA = CBVB \quad CB = CAV_1A / VB$$

$$\text{Au 2ème point d'équivalence : } CB = CAV_2A / VB$$

Copie 16 : Les coordonnées des points d'équivalences :

$$E_1(V_1=10mL ; pH_1=8,4) \quad E_2(V_2=20mL ; pH_2=4,6)$$

$$\text{A l'équivalence 1 : on a } n_A = n_B \quad CaVa_{\text{éq}1} = CbVb \quad Vb_1 = CaVa_{\text{éq}1} / Cb$$

$$\text{A l'équivalence 2 : } CaVa_{\text{éq}2} = CbVb \quad Vb_2 = CaVa_{\text{éq}2} / Cb$$

Concernant les binômes 1, 10, 12 et 16, les apprenants déterminent les coordonnées des deux points d'équivalence à partir de la courbe du dosage, puis appliquent la relation à l'équivalence ou au point d'équivalence. Ces étudiants présentent des difficultés à déterminer les coordonnées des points d'équivalence par le calcul, puisqu'ils n'arrivent pas à recenser les différentes entités chimiques présentes dans chaque état d'équivalence. Le refuge des étudiants se présente dans le calcul des concentrations.

L'événement reconstruit (réaction acido-basique) est en lien avec des objets reconstruits (entités chimiques présents en solution) :

Copie 19 : *1er point d'équivalence : $pH=8,4$ et $V_{H_2SO_4}=9,9mL$

$$*2\text{ème point d'équivalence : } pH=4,4 \text{ et } V_{H_2SO_4}=20,3mL$$

$$*pour \text{ la } 1\text{ère basicité : } CO_3^{2-} + H_3O^+ \rightleftharpoons HCO_3^- + H_2O$$

$$nCO_3^{2-} = nH_3O^+ \quad CbVb = 2CaVa \quad Va = CbVb / 2Ca$$

$$\text{Puisqu'on a } Ka = [H_3O^+][CO_3^{2-}] / [HCO_3^-]$$

$$\text{Or à l'équivalence } [CO_3^{2-}] = [HCO_3^-]$$

$$\text{D'ou } Ka_1 = [H_3O^+] \quad \log[H_3O^+] = \log Ka_2 \quad \text{d'ou } pH = pKa_2$$

$$*pour \text{ la } 2\text{ème basicité : } nHCO_3^- = nH_3O^+ \quad CbVb = 2Ca(Va_2 - Va_1)$$

$$CbVb + 2CaVa_1 = 2CaVa_2 \quad Va_2 = CbVb + 2CaVa_1 / 2Ca$$

Copie 21 : *Pour le 1er couple : $pH_1=8,7$ et $V_{1\text{éq}}=9,5mL$

*Pour le 2ème couple : $pH_2=4,3$ et $V_{2\text{éq}}=19,5mL$

*détermination par le calcul :

pour la 1^{ère} basicité : $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$

D'où $n\text{CO}_3^{2-} = n\text{H}_3\text{O}^+ \quad C_b V_b = 2C_a V_a$ D'où $V_a = C_b V_b / 2C_a$

Puis on a $K_{a1} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]}$ Or à l'équivalence $[\text{CO}_3^{2-}] = [\text{HCO}_3^-]$ D'où $K_{a2} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HCO}_3^-]} = \log K_{a2}$ d'où $\text{pH} = \text{p}K_{a2}$

pour la 2^{ème} basicité : $\text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

D'où $n\text{HCO}_3^- = n\text{H}_3\text{O}^+ \quad C_b V_b = 2C_a(V_a - V_{a1})$

$C_b V_b + 2C_a V_a = 2C_a V_a \quad V_a = C_b V_b + 2C_a V_{a1} / 2C_a$

$K_{a1} = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CO}_2]}$

$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_{a1}$ car à l'équivalence $[\text{HCO}_3^-] = [\text{CO}_2]$ d'où $\text{pH}_2 = \text{p}K_{a1}$

Pour les binômes 19 et 21, ils parviennent à distinguer les différentes entités chimiques présentes en solution en écrivant correctement les équations de réactions. Par contre, ils n'arrivent pas à faire le lien entre les objets reconstruits et la propriété reconstruite, c'est-à-dire qu'au premier saut de pH, la valeur du pH est relative au pH d'une espèce amphotère (HCO_3^-) en solution et celui du deuxième saut de pH, le pH correspond à celui d'une solution d'acide faible (CO_2).

L'événement reconstruit (équivalence ou réaction acido-basique) est en lien avec une propriété reconstruite (basicité) :

Copie 26 : On peut déterminer graphiquement les coordonnées des points d'équivalence E1 et E2 par la méthode des tangentes E1($V_{\text{éq}1} = 10,1 \text{ ml}$; $\text{pH}_{\text{éq}1} = 8$) E2($V_{\text{éq}2} = 20,5 \text{ cm}^3$; $\text{pH}_{\text{éq}2} = 4,1$)

Ou par le calcul : *1^{ère} basicité : à l'équivalence on a $N_a V_{\text{éq}1} = N_b V_b$

$2C_a V_{\text{éq}1} = 2C_b V_b \quad V_{\text{éq}1} = C_b V_b / 2C_a$

*2^{ème} basicité : $N_a(V_{\text{éq}2} - V_{\text{éq}1}) = N_b V_b$

$2C_a(V_{\text{éq}2} - V_{\text{éq}1}) = 2C_b V_b \quad V_{\text{éq}2} - V_{\text{éq}1} = C_b V_b / 2C_a \quad V_{\text{éq}2} = C_b V_b / C_a + V_{\text{éq}1}$

Le binôme 26 se contente d'appliquer la relation à l'équivalence pour pouvoir déterminer les valeurs des volumes d'équivalences. Le calcul du pH de la solution n'a pas été effectué par ce binôme puisque ce dernier présente des difficultés dans la détermination des entités chimiques présentes en solution ainsi que les propriétés reconstruites relatives à ces entités.

Copie 34 : D'après la méthode des tangentes : E1($V_1 = 10,7 \text{ mL}$, $\text{pH}_1 = 8,5$) E2($V_2 = 22,6 \text{ mL}$, $\text{pH}_2 = 4,5$)

*par le calcul :

1^{ère} basicité : $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$

A l'équivalence : $C_a V_a = C_b V_b \quad C_a V_a = 1/2 C_b V_b \quad V_a = C_b V_b / 2C_a = V_b / 2$

$\text{pH} = 1/2(\text{p}K_a + 14 + \log C)$

$C = \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{HCO}_3^-] + [\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{n(\text{H}_3\text{O}^+)}{V_T}$ avec $V_T = (V_1)_{\text{éq}} + V_B$

$[\text{HCO}_3^-] = C \cdot V / V_T$

2ème basicité : $\text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

A l'équivalence : $2\text{CAVA} = 2\text{CBVB}$ $\text{VA} = \text{CBVB}/\text{CA}$

$\text{pH} = \text{pKa} + \log[\text{HCO}_3^-]/[\text{CO}_2]$

De même pour le binôme 34, ce dernier présente une difficulté à déterminer la propriété de la solution bien qu'il a bien défini les entités chimiques réactionnelles mises en jeu dans la solution.

- L'événement reconstruit (point d'équivalence) est en lien avec un objet perceptible (solution) :

Copie 38 : Le premier point d'équivalence a pour coordonnées $\text{pH}_1 = 8,2$ et $\text{VBE}_1 = 9,3\text{mL}$

Le deuxième point d'équivalence a pour coordonnées $\text{VBE}_2 = 18,8\text{mL}$ et $\text{pH}_2 = 4,3$

*au cours du 1er point d'équivalence on a une solution de base faible $\text{pH} = 1/2(\text{pKa} + \text{pKe} + \log c)$ $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-$

*au cours du 2ème dosage : $\text{pH} = 1/2(\text{pKa}_1 - \log c)$

Copie 11 : Le premier point d'équivalence a pour coordonnées $\text{pH}_1 = 8,2$ et $\text{VBE}_1 = 9,3\text{mL}$

Le deuxième point d'équivalence a pour coordonnées $\text{VBE}_2 = 18,8\text{mL}$ et $\text{pH}_2 = 4,3$

*au cours du 1er point d'équivalence on a une solution de base faible $\text{pH} = 1/2(\text{pKa} + \text{pKe} + \log c)$ $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-$

*au cours du 2ème dosage : $\text{pH} = 1/2(\text{pKa}_1 - \log c)$

Les binômes 38 et 11, présentent les seuls la relation adéquate pour déterminer la valeur du pH de la solution au 2^{ème} point d'équivalence. Les étudiants présentent des difficultés à comprendre la propriété reconstruite de l'ion hydrogénocarbonate.

A partir des résultats des productions écrites des étudiants lors de leurs réponses à la question 3, nous constatons qu'aucun des étudiants n'a répondu correctement à cette question. Ils n'arrivent pas à déterminer, par calcul, les coordonnées des points d'équivalences, cette difficulté est due au fait que les étudiants n'arrivent pas à établir correctement le lien entre l'objet reconstruit et la propriété reconstruite. Ces deux niveaux de connaissances doivent exister dans la réponse des étudiants.

III.3.2. Résultats concernant les productions verbales

Les résultats concernant les niveaux de connaissances mis en œuvre par le binôme enregistré sont groupés dans le tableau 101 :

Tableau 101 : Niveaux de connaissances et types de liens mis en œuvre dans la transcription

| Sans relation [é] [M.géo] [p] [M.num] | | | | Relation externe [M.géo ; G] [é ; M.num] | |
|---------------------------------------|---|---|---|--|---|
| 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

[M.géo] : modèle géométrique

[M.num] : modèle numérique

Le tableau ci-dessus montre que le binôme enregistré utilise fréquemment le niveau de l'événement reconstruit soit sans relation, soit en relation avec le modèle numérique :

Nader-141 : Par le calcul on a au point d'équivalence + CAVA

Taoufik-142 : Houni (ici) point d'équivalence wa houni (et ici) point de $\frac{1}{2}$ équivalence

En appliquant la relation à l'équivalence, le binôme enregistré se limite uniquement à retrouver, par le calcul, les valeurs des deux volumes d'équivalence. Concernant le calcul de la valeur du pH de la solution, le binôme ne répond pas à cette partie de la question vu que la réponse à ce problème nécessite la mise en relation entre les trois niveaux de connaissances du monde reconstruit, tels que l'événement, les objets et la propriété reconstruite.

Ce résultat est confirmé par le tableau 102 qui traite de la comparaison entre l'analyse *a priori* et l'activité effective du binôme :

Tableau 102 : Comparaison entre l'analyse a priori et l'activité du binôme

| Analyse <i>a priori</i> | Activité du binôme |
|---|-------------------------------|
| [M.géo ; G] [é ; o] [o ; p] [p ; G] M.num | [M.géo ; G] [é ; M.num] M.num |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

[M.géo] : modèle géométrique

[M.num] : modèle numérique

Ce tableau montre qu'il y a un écart entre l'analyse *a priori* et celle de l'activité du binôme. Nous considérons que l'apprentissage n'a pas eu lieu étant donné que la réponse à la question est considérée comme fautive.

III.3.3. Conclusion

Nous constatons, d'après les résultats des productions écrites ainsi que les productions verbales, que les difficultés des étudiants se présentent au niveau du calcul du pH de la solution. Cette difficulté est due au fait que les étudiants n'arrivent pas à déterminer, les entités chimiques présentes dans chaque état d'équivalence et la propriété

correspondante à chaque entité.

Ce qui revient à dire qu'il n'y a pas eu de dévolution pour cette question.

Dans ce qui suit, nous allons traiter les questions qui figurent dans le deuxième dosage du TP3, étant donné l'apport de ces questions à notre recherche.

Ces questions, au nombre de deux, appartiennent au dosage d'une soude carbonatée. La particularité de ces questions, est de donner des prédictions avant de réaliser l'expérience.

III.4. Résultats de la 4^{ème} question

Cette question va permettre à l'étudiant, à partir de l'écriture de la réaction de carbonatation, qu'il y a formation de l'ion carbonate et non pas l'ion hydrogencarbonate.

Les solutions de soude réagissent avec le dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère. Traduire cette carbonatation par une équation chimique. On justifiera la forme sous laquelle se trouve le dioxyde de carbone dans la soude carbonatée.

III.4.1. Résultats concernant les productions écrites

Pour cette question, la majorité des binômes mobilisent uniquement trois niveaux de connaissances du monde reconstruit, tels que le niveau de l'événement, le niveau des objets et le niveau de la propriété.

Dans notre analyse des 40 copies, nous avons dégagé uniquement deux types de liens tels que le lien entre les objets et l'événement reconstruit et le lien entre les objets et la propriété reconstruite.

Copie 5 : $\text{CO}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$

La soude réagit avec le gaz carbonique de l'air et rapidement on va obtenir une certaine quantité de carbonate de sodium. ([o;é])

Copie 6 : $\text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{Na}^+ + \text{CO}_3^{2-}$

$\text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{C}(\text{gr}) + \text{O}_2(\text{g})$

$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{Na}^+ + \text{CO}_3^{2-} + \text{C}(\text{gr}) + \text{O}_2(\text{g})$

Donc la forme sous laquelle se trouve le dioxyde de carbone dans la soude carbonatée est un gaz $\text{CO}_2(\text{g})$ forme gazeuse. ([o ; é] [o; p])

Dans le tableau 103, nous allons donner la fréquence de liens mises en jeu dans les 40 copies et non pas l'ensemble de liens existants dans chaque copie.

Tableau 103: Répartition de la fréquence des types de liens dans les copies

| Types de liens entre les niveaux de connaissances | Fréquence d'apparition dans les copies |
|---|--|
| [o ; é] | 21 |
| [o; p] | 5 |
| Pas de réponse | 18 |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

L'objectif d'apprentissage de cette question, est de permettre aux étudiants de traduire la réaction de carbonatation de la soude par une équation chimique. Le tableau ci-dessus montre l'existence uniquement de deux liens entre les trois niveaux de connaissances, ces derniers sont utilisés par les binômes puisque la question se réfère à ces niveaux là.

Toutefois, nous avons recensé 12 réponses fausses pour cette question ; la difficulté de ces étudiants se manifeste dans l'écriture de la réaction de carbonatation, c'est-à-dire la mise en relation des différentes entités chimiques réagissant ensemble.

Copie 10 : $\text{NaOH} + \text{CO}_2 \square \text{Na}^+ + \text{HCO}_3^-$

Copie 14 : $\text{NaOH} \square \text{Na}^+ + \text{OH}^-$

$\text{H}_2\text{CO}_3 \square 2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$

Equation de la réaction $\text{H}_2\text{CO}_3 + 2\text{OH}^- \square \text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$

La soude carbonatée est amphotère

Copie 16 : L'équation chimique : $\text{NaOH} + \text{H}_2\text{CO}_3 \square \text{H}_2\text{O} + \text{Na}^+ + \text{HCO}_3^-$

Le dioxyde de carbone se trouve sous la forme acide dans la soude carbonatée

Par contre, les 9 autres réponses (parmi les 12 réponses considérées comme fausses) sont considérées comme incomplètes puisque ces étudiants ne répondent pas à la deuxième moitié de la question qui porte sur la justification de la forme sous laquelle se retrouve le dioxyde de carbone dans la soude carbonatée.

Copie 5 : $\text{CO}_2 + 2\text{OH}^- \square \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$

La soude réagit avec le gaz carbonique de l'air et rapidement on va obtenir une certaine quantité de carbonate de sodium.

Copie 9 : $2\text{OH}^- + \text{CO}_2 \square \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$

Copie 11 : $\text{Na}^+ + \text{OH}^- + \text{CO}_2 \square \text{CO}_3^{2-} + \text{Na}^+ + \text{H}_2\text{O}$

Copie 17 : $2\text{OH}^- + \text{CO}_2 \square \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$

Copie 26 : Equation chimique traduisant cette carbonatation $2\text{OH}^- + \text{CO}_2 \square \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$

Copie 29 : La soude réagit avec le gaz carbonique de l'air suivant :

$2\text{OH}^- + \text{CO}_2 \square \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$

Equation de la réaction :

$2\text{NaOH} + \text{CO}_2 \square \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Copie 31 : $2\text{OH}^- + \text{CO}_2 \square \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$

Les solutions de soude contiennent assez rapidement une certaine quantité de carbonate de sodium



Copie 40 : La soude réagit avec le gaz carbonique de l'air suivant :



Equation de la réaction :



Ces 9 binômes se contentent d'écrire l'équation de la réaction de carbonatation sans justifier la raison pour laquelle se forme l'ion carbonate et non pas l'ion hydrogénocarbonate. La formation de l'ion carbonate CO_3^{2-} est due au fait que, lors de la dissolution d'un peu de dioxyde de carbone, le pH de la solution de soude reste très basique et dans ces conditions c'est la forme basique qui prédomine.

La difficulté des étudiants se présente dans l'identification de la propriété reconstruite d'une telle réaction. Cette propriété est liée à une grandeur, qui est le pH de la solution permettant de déterminer le produit final de la réaction.

III.4.2. Résultats concernant les productions verbales

Cette question a mobilisé trois niveaux de connaissances appartenant uniquement au monde reconstruit.

Tableau 104 : Niveaux de connaissances et types de liens mis en oeuvres dans la transcription

| Sans relation [é] [o] [p] | | | Relation interne [é ; o] [o ; p] | |
|---------------------------|---|---|----------------------------------|---|
| 2 | 1 | 1 | 2 | 1 |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

Bien que ce binôme a utilisé uniquement les trois niveaux de connaissances du monde reconstruit, sa réponse à la question demeure fautive puisqu'il ne parvient pas à écrire correctement l'équation de la réaction de carbonatation et de déterminer sous quelle forme se retrouve le dioxyde de carbone dans la soude carbonatée.

Nader-197 : Eih héthi (oui celle-ci) plus 2(::)H₂O taatina (nous donne) donne HCO₃⁻ plus H₃O⁺ c'est l'équation

Taoufik-202 : Dioxyde de carbone CO₂ dans la soude carbonatée / CO₂ dans la soude carbonatée kifèch ? (comment) / sous quelle forme ? ouf (il soupire) / sous quelle forme ?

Nader-203 : □ gazeux / gazeux

Taoufik-204 : Gaz ? / le CO₂ se trouve /

Nous présentons dans le tableau qui suit, une comparaison de l'activité du binôme avec l'analyse *a priori*.

Tableau 105 : Comparaison entre l'analyse *a priori* et l'activité du binôme

| Analyse <i>a priori</i> | Activité du binôme |
|-------------------------|--------------------|
| [o ; é] [G ; p] | [é ; o] [o ; p] |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

Nous constatons, d'après le tableau 105, que le lien entre le niveau grandeur et la propriété reconstruite valide l'écriture de l'équation de la réaction de carbonatation. Or le binôme enregistré ne fournit pas ce lien dans sa réponse à cette question, ce qui engendre qu'il n'y a pas eu de dévolution.

III.4.3. Conclusion

A partir des résultats élucidés ci-dessus, nous constatons que la difficulté des apprenants se manifeste, tout d'abord, dans l'écriture de l'équation de la réaction de carbonatation. Cette difficulté est due au fait que les étudiants ne sont pas parvenus à identifier le produit final de la réaction.

III.5. Résultats de la 5^{ème} question

Cette question est inhabituelle pour les étudiants puisque nous leur demandons de prévoir l'allure de la courbe du dosage, avant de réaliser l'expérience.

Prévoir, en justifiant, l'allure de la courbe de dosage, par un acide fort, d'une soude partiellement carbonatée.

III.5.1. Résultats concernant les productions écrites

Nous présentons dans le tableau qui suit, le détail des niveaux de connaissances mises en jeu par les binômes concernant cette activité.

Tableau 106 : Répartition de la fréquence des types de liens dans les copies

| Types de liens entre les niveaux de connaissances | Fréquence d'apparition dans les copies |
|---|--|
| [M.géo ; E] | 11 |
| [p; o] | 3 |
| [M.géo ; p] | 2 |
| [E; p] | 2 |
| [M.géo ; o] | 1 |
| [é ; p] | 1 |
| Pas de réponse | 28 |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[E] : événement perceptible

[M.géo] : modèle géométrique

Nous constatons, d'après le tableau ci-dessus, que la plupart des étudiants utilisent fréquemment le lien entre la courbe du dosage et le saut de pH : [M.géo ; E], sans donner aucune justification à leur réponse :

Copie 10 : L'allure de la courbe du dosage par un acide fort d'une soude carbonatée admet deux sauts

Copie 14 : Un saut de pH

Mis à part le lien entre la courbe du dosage et le saut de pH, la réponse des étudiants présentent cinq types de liens :

- Le lien entre la propriété reconstruite (basicité, fort) et l'objet reconstruit (base, soude, NaOH, Na_2CO_3) :

Copie 3 : Si la soude carbonatée était dosé par un acide fort. Celui-ci n'éliminerait que la 2ème basicité de la base. Donc l'allure de la courbe serait comme celle d'une monobase.

Copie 21 : La courbe admet deux sauts de pH d'où au 1er point d'équivalence on a dosé la soude et la première basicité du carbonate et au 2ème point d'équivalence on a dosé en plus la deuxième basicité du carbonate.

Copie 32 : La courbe présente deux sauts de pH : le NaOH est plus fort que Na_2CO_3 donc celle qui capte les ions H^+ d'où l'absence de courbure donc les 2 sauts sont bien visibles.

Concernant ces trois copies, aucun des trois binômes ne présente une justification théorique valable concernant l'allure de la courbe du dosage.

- Le lien entre le modèle géométrique (allure de la courbe) et la propriété reconstruite :

Copie 29 : l'allure de la courbe de la réaction de la carbonatation de la soude montre deux

sauts, on remarque que la première partie de la courbe est plus longue ce qui est due à l'importance de la quantité de base à neutraliser.

Copie 40 : l'allure de la courbe de la réaction de la carbonatation de la soude montre deux sauts, on remarque que la première partie de la courbe est plus longue ce qui est due à l'importance de la quantité de base à neutraliser.

Ces deux binômes présentent uniquement une description géométrique de l'allure de la courbe du dosage.

- Le lien entre l'événement perceptible (saut de pH) et la propriété reconstruite (basicité):

Copie 1 : L'allure de la courbe de dosage par un acide fort est convenable à la 2ème saut de la 2ème basicité.

Copie 37 : L'allure de la courbe de dosage par un acide fort est convenable à la 2ème saut de la 2ème basicité.

De même pour ces deux copies, aucune justification théorique n'est fournie par ces apprenants.

- Le lien entre le modèle géométrique (allure de la courbe) et l'objet reconstruit (monobase) :

Copie 3 : Si la soude carbonaté était dosé par un acide fort. Celui ci n'éliminerait que la 2ème basicité de la base. Donc l'allure de la courbe serait comme celle d'une monobase.

- Le lien entre l'événement reconstruit (point d'équivalence) et la propriété reconstruite (basicité) :

Copie 21 : La courbe admet deux sauts de pH d'où au 1er point d'équivalence on a dosé la soude et la première basicité du carbonate et au 2ème point d'équivalence on a dosé en plus la deuxième basicité du carbonate.

La justification de ce binôme est que la courbe du dosage présente deux sauts de pH, puisque le carbonate de sodium présente deux basicités, et d'attribuer à chaque saut de pH un point d'équivalence.

A partir des résultats des productions écrites des étudiants lors de la réponse à la question 5, nous constatons que cette activité pose un problème étant donné que les étudiants ne sont pas habitués à donner des prédictions avant de réaliser l'expérience.

Nous présentons par la suite, les résultats de l'analyse de la transcription du binôme enregistré.

III.5.2. Résultats concernant les productions verbales

Les activités du binôme en termes de niveaux de connaissances sont rapportées dans le tableau suivant (Tab.107) :

Tableau 107 : Niveaux de connaissances et types de liens mis en oeuvres dans la transcription

| Sans relation | [é] [p] | Relation externe | | | |
|---------------|---------|------------------|---------|-------------|-------------|
| | | [M.géo ; é] | [G ; o] | [M.géo ; E] | [M.géo ; o] |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

[E] : événement perceptible

[M.géo] : modèle géométrique

Pour cette question, le binôme enregistré présente très peu de liens avec les différents niveaux de connaissances. L'événement reconstruit présent dans cette partie de la transcription est, relatif à la réaction de carbonatation et il est lié au modèle géométrique :

Nader-211 : A un sens décroissant / pendant la carbonatation + prévoir en justifiant l'allure de la courbe de dosage par un acide fort d'une soude

Nous présentons dans le tableau suivant, les différences constatées entre les procédures de résolution de la tâche de l'analyse *a priori* et celle de l'activité du binôme.

Tableau 108 : Comparaison entre l'analyse a priori et l'activité du binôme

| Analyse <i>a priori</i> | Activité du binôme |
|---|---|
| [O ; o] [o ; p] [G ; M.num] [G ; E] [E ; o] | [M.géo ; é] [G ; o] [M.géo ; E] [M.géo ; o] |

Légende :

[é] : événement reconstruit

[o] : objet reconstruit

[p] : propriété reconstruite

[G] : grandeur

[E] : événement perceptible

[O] : objet perceptible

[M.géo] : modèle géométrique

[M.num] : modèle numérique

Le tableau ci-dessus (Tab.108) montre l'écart qui existe entre l'analyse *a priori* et celle de l'activité du binôme. Ce dernier ne se base pas dans son raisonnement sur le concept de réaction chimique ni sur la propriété reconstruite de la soude partiellement carbonatée. Cet écart montre la difficulté de ce binôme face à ce type de question, ce qui amène à une réponse incorrecte du point de vue du savoir savant :

Taoufik-220 : Chouh (regarde) partielle carbonatée donc / le dosage d'une dosage d'une solution d'une soude partiellement carbonatée par un acide fort admet la même allure de la courbe que le dosage de Na_2CO_3 par H_2SO_4 c'est-à-dire possède 2 sauts de pH mathébéché taaréf (tu ne peux pas savoir)

Ce résultat confirme, une fois de plus, notre hypothèse générale de départ telle que, les difficultés des étudiants dans le domaine de l'acido-basicité proviennent en partie de la compréhension partielle de la réaction chimique.

Lors de la comparaison entre les niveaux mis en œuvre et les relations réalisées et ceux qui sont attendues (Tab.108), nous constatons qu'il n'y a pas eu de dévotion à l'apprentissage, ce qui nous amène à dire que ce binôme est en difficulté et cette difficulté provient de la non compréhension du concept de réaction chimique.

III.5.3. Conclusion

Cette activité nous permet de dégager les résultats suivants :

- L'analyse des différentes copies et de la transcription, montre que les binômes utilisent fréquemment le lien entre l'allure de la courbe du dosage et le saut de pH sans donner des justifications théoriques relatives au nombre de saut de pH qui doivent figurer dans l'allure de la courbe du dosage de la soude partiellement carbonatée par un acide fort.
- Le niveau de l'événement reconstruit n'est pas utilisé dans l'activité cognitive des apprenants, puisque ces derniers présentent des difficultés à identifier les différentes entités chimiques présentes dans le système chimique réactionnel.

IV. Conclusion

L'analyse des différentes réponses des étudiants aux cinq questions de ce TP, montre que les apprenants sont en situation de difficulté pour le dosage d'une dibase et d'un mélange de base. La première difficulté détectée est liée au calcul du pH de la solution de carbonate de sodium. Cette difficulté se présente dans la non identification, par les étudiants, de la propriété reconstruite (dibase) de la solution qu'ils ont préparé ainsi que les objets reconstruits (les entités chimiques présentes en solution). Bien que le texte du TP présente la propriété de l'ion carbonate, les apprenants ne parviennent pas à faire ressortir les indications valables pour répondre à cette première question.

L'écriture des équations de réactions relatives à un dosage d'une dibase montre les difficultés des étudiants à déterminer les couples acido-basiques.

Toutefois, dans l'ensemble des tâches de ce TP, nous avons remarqué que les étudiants utilisent fréquemment les niveaux de connaissances du monde reconstruit dans la majorité des réponses, chose qui n'était pas faite dans les réponses des étudiants de l'ancienne version.

Malgré le nombre fréquent de ces mises en relation, les étudiants présentent encore des difficultés à identifier les différentes entités chimiques présentes dans le système

chimique réactionnel.

Conclusion générale

A l'origine de ce travail, nous nous sommes posés la question sur les activités proposés dans les séances de travaux pratiques relevant du domaine de l'acido-basicité. L'analyse des savoirs mis en jeu dans les anciens textes de TP a montré que la structure du travail fait appel à une faible variété d'activités cognitives. Ce résultat a été confirmé par l'analyse des productions écrites des étudiants faisant partie de ces anciennes versions de TP. Ce travail nous a permis de mettre en place des textes mettant différemment en jeu les savoirs auxquels les étudiants allaient être confrontés dans les dosages acido-basiques. L'élaboration de la séquence d'enseignement expérimental s'est basée sur l'activité de modélisation afin d'organiser le savoir mis en jeu dans les séances de TP et sur l'établissement des relations entre les différents niveaux de connaissances. L'organisation du contenu de la séquence est en rapport avec les objectifs d'apprentissage que nous nous sommes fixés au début de chaque séance de TP.

Nous avons constaté, lors de la comparaison des productions écrites des étudiants que la proportion des mises en relations des niveaux de connaissances est beaucoup plus importante dans la nouvelle version que dans l'ancienne. Ce résultat provient en partie de la manière de poser la question qui favorise la mise en jeu du savoir de la séance.

Toutefois, nous avons montré que l'apprentissage n'est pas le même dans les deux versions puisque les séquences d'enseignement sont différentes et l'enjeu du savoir est de même différent : dans les anciennes versions du TP, ce qui est demandé aux étudiants repose généralement sur un procédé de calculs alors que pour la nouvelle version nous

avons procédé à une réflexion sur le système chimique et essentiellement sur la réaction acido-basique. Nous soulignons que la démarche suivie par les étudiants dans les anciennes versions du TP, présente une forte mobilisation du modèle numérique dans leurs réponses, par contre ceux de la nouvelle version le mobilisent aussi mais pas d'une manière systématique c'est-à-dire juste après une réflexion sur le système réactionnel. Le refus des étudiants de l'ancienne version à faire des calculs mathématiques montre leurs difficultés à comprendre le système réactionnel mis en jeu. L'analyse des anciennes copies des étudiants montre le manque de richesse conceptuelle dans leurs réponses, cela provient en partie de la structure du travail demandé lors de la séance.

Regardons maintenant les difficultés des étudiants relatives à notre séquence d'enseignement expérimental.

Au cours de la première séance de TP, nous avons observé que les étudiants utilisent fréquemment la courbe du dosage dans leur raisonnement. La difficulté des étudiants se manifeste au niveau de l'absence de la mise en relation entre les entités chimiques présentes en solution et la réaction acido-basique. Les difficultés que les étudiants rencontrent dans les titrages sont dues au fait qu'ils ont mal compris la réaction chimique : normalement il y a la représentation microscopique de la matière et de ses propriétés qui ne sont pas mis en jeu dans leurs raisonnements ça reste encore des calculs d'une part et le modèle géométrique d'autre part. Les étudiants ne décrivent pas le système chimique pour donner du sens à la réaction acido-basique. Nous avons remarqué également que l'écriture de l'équation de la réaction du dosage se réduit systématiquement par la majorité des étudiants à une écriture de l'équation-bilan.

Au niveau de la comparaison des courbes de dosages, nous avons montré que les étudiants mobilisent manifestement un lien entre la courbe, les objets, les événements et les propriétés observables. Cette comparaison est tout à fait géométrique, un point de plus qui montre l'absence de relation avec la représentation microscopique de la matière et de ses propriétés. Nous avons aussi constaté que le point d'équivalence est tout le temps présent dans l'activité cognitive de l'apprenant, il se réfère à ce point dans son raisonnement tout en le considérant comme étant un point qui représente l'évolution du système réactionnel déterminant l'état de l'équivalence ou le moment de l'équivalence et non pas un point appartenant à la courbe.

La comparaison entre le dosage pH-métrique et le dosage conductimétrique, montre que la courbe conductimétrique facilite la compréhension du concept de réaction acido-basique. Toutefois, en situation de dosage pH-métrique, les étudiants associent directement le saut de pH à la réaction acido-basique, cette association est due à la représentation géométrique de la courbe pH-métrique : cette dernière a un défaut d'indiquer un moment symbolisé par le saut de pH, qui continue tout au long du dosage ; par contre la courbe conductimétrique indique un moment correspondant à un minimum montrant la fin de la réaction du dosage. Cependant, la courbe pH-métrique freine l'apprentissage de la réaction acido-basique.

Au cours des deux autres séances de TP, l'analyse des productions écrites et des productions verbales a montré une évolution dans l'activité cognitive des étudiants, étant donné la mobilisation et la mise en relation des niveaux de connaissances relatifs au

système réactionnel. Cette évolution est due d'une part à l'organisation du savoir mis en jeu pendant la séquence et d'autre part, aux questions posées favorisant la mise en jeu et la mise en relation de ces différents niveaux de connaissances. Les étudiants ne se limitent pas aux observations concernant la situation qu'ils manipulent, ils essaient d'interpréter ou de prédire ce qui va se passer en réfléchissant sur le système réactionnel.

Au cours des analyses des productions écrites et verbales des étudiants, nous avons montré que ces derniers présentent des difficultés pour la détermination du pH d'une solution basique : cette difficulté revient à l'absence de l'identification, par les étudiants, des différentes entités chimiques présentes en solution. Pour l'écriture des équations de réactions acido-basiques, la description du système chimique pose toujours un problème pour les étudiants.

La diversité des activités proposées dans la séquence expérimentale mettant en jeu la réaction chimique favorise l'appropriation de ce concept par l'étudiant et l'utilise dans ses démarches de résolutions des différentes tâches.

Bien que notre principal objectif de faire fonctionner le monde reconstruit dans l'activité cognitive des étudiants est atteint, ces derniers présentent toujours des difficultés à décrire le système chimique pour donner du sens à la réaction acido-basique. La difficulté des étudiants dans le domaine de l'acido-basicité revient en partie de la compréhension partielle qu'ils ont du concept de réaction chimique.

Nous avons constaté que les activités proposées dans la séquence d'enseignement expérimentale ont favorisé les liens entre les objets /événement observables relatifs à l'expérience et le concept de réaction chimique.

Du point de vue des pratiques d'enseignement expérimentale et afin de favoriser l'activité cognitive des étudiants, les textes de TP doivent être organisés de façons à inciter l'étudiant à faire des liens entre les objets/événements relatifs à la manipulation et les différents concepts mis en jeu.

Les modalités d'activités impliquant l'expérience doivent être diversifiées, comme par exemple des activités mettant en jeu des prédictions relatives à la situation expérimentale.

Ce résultat peut être valable à toutes les séquences d'enseignement expérimental en chimie mettant en jeu le concept de réaction chimique, comme par exemple le cas des TP en chimie organique, où il y a beaucoup d'observations mais la partie théorique se limite à écrire des mécanismes sans être en relation avec les objets/événements observables.

Références bibliographiques

- ARSAC G. (1992). L'évolution d'une théorie en didactique : l'exemple de la transposition didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Vol. 12, n°1, p.7-32.
- ARTIGUE M. (1992). Didactic engineering. *Recherche en didactique des mathématiques*, Vol.13, n°3, p.41–66.
- ASTOLFI, J.P., DROUIN A.M. (1992). La modélisation à l'école élémentaire, in Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences. INRP, Paris.
- AULT C. R., NOVAK J. D. & GOWIN D. B. (1984). Constructing Vee maps for clinical interviews on molecule concepts. *Science Education*, Vol.68, n°4, p.441-462.
- BAKER M. (1996). Argumentation et co-construction des connaissances. *Interaction et cognitions*, Vol.2-3, n°1, p.157-191.
- BANGE P. (1992). *Analyse conversationnelle et théorie de l'action*. Paris, Hatier-Didier.
- BARLET R. & PLOUIN D. (1994). L'équation-bilan en chimie un concept intégrateur source de difficultés persistantes. *Aster*, n°18, p.27-56.
- BARLET R. (1993). La dualité microscopique-macroscopique en chimie, difficultés et enjeux didactiques. In 9^{ème} JIREC, Montpellier, août 1993.
- BECU – ROBINAULT K. (1997). Activités de modélisation des élèves en situation de travaux pratiques traditionnels : Introduction expérimentale du concept de puissance. *Didaskalia*, n°11, p.7-37.

- BECU-ROBINAULT K. (1997). *Rôle de l'expérience en classe de physique dans l'acquisition des connaissances sur les phénomènes énergétiques*. Thèse de Doctorat de Didactique des Sciences, Université Claude Bernard, Lyon I.
- BEN-ZAVI R., EYLON B.S. & SILBERSTEIN J. (1982). Student conception of gaz and solid. Difficulties of function in a multi-atomic context – *NARST Conference*.
- BROUSSEAU G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en Didactiques des Mathématiques*, Vol.7, n°2, p.33-115.
- BROUSSEAU G. (1995). Les stratégies de l'enseignant et les phénomènes typiques de l'activité didactique, In *Actes de la VIII^{ème} Ecole d'été de didactique des mathématiques*.
- BROUSSEAU G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Textes rassemblés par N. Balacheff, M. Cooper, R. Sutherland & V. Warfield. Grenoble, La pensée sauvage.
- BROUSSEAU N. & BROUSSEAU G. (1987). Rationnels et décimaux dans la scolarité obligatoire. *Publication de l'IREM de Bordeaux*.
- BUTY C., TIBERGHIE A. & LE MARECHAL J.F. (2004). Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, Vol.26, n°5, p.579-604.
- CARRETTO J. & VIOVY R. (1994). Relevé de quelques obstacles épistémologiques dans l'apprentissage du concept de réaction chimique. *Aster*, n°18, p.11-26.
- CHEVALLARD Y. (1991). *La transposition didactique*, 2^{ème} eds. Grenoble, La Pensée Sauvage.
- CHOMAT A., LARCHER C. & MEHEUT M. (1988). Modèle particulière et activités de modélisation en classe de quatrième. *Aster*, n° .7, p.143-183.
- COLE M. & ENGESTRÖM Y. (1993). A cultural-historical approach to distributed cognition. In G. Salomon (ed.) *Distributed Cognition. Psychological and Educational Considerations* (Cambridge: Cambridge University Press), p.1–46.
- CROS D., CHASTRETTE M. & FAYOL M. (1988). Conceptions of second-year university students of some fundamental notions in chemistry. *International Journal of Science Education*. Vol.10, p.331-336.
- CROS D., MAURIN M., AMOUROUX R., CHASTRETTE M., WEBER J. & FAYOL M. (1986). Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and the notions of acids and bases. *European Journal of Science Education*. Vol.8, p.305-313.
- CROZIER M. & FRIEDBERG E. (1977). *L'acteur et le système*. Paris, Seuil.
- DARLEY B. (1994). L'enseignement de la démarche scientifique dans les travaux pratiques de biologie à l'université. Analyses et propositions. Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble I.
- DOGGUY L., MAYRARGUE-KODJA A. & BOUJLEL K. (1993). Une approche concrète pour mieux faire assimiler les notions d'évolution et d'équilibre. In 9^{ème} JIREC, Montpellier, août 1993.
- DRIVER R. (1985). Beyond appearances : the conservation of matter unde physical and chemical transformations. In R. Driver, E. Guesne and A. Tiberghien (eds), *Children's*

- Ideas in Science (Milton Keynes : Open University Press)*, p. 145-169.
- DUMON A. & SOUISSI N.S. (1986). Un enseignement expérimental de la chimie (en premier cycle universitaire) : pour quoi faire ? *L'actualité chimique*, Novembre, p.57-63.
- DUPONT C. (2002). *L'interaction entre deux élèves par l'étude de leurs gestes lors d'une séance de TP en chimie*. Mémoire de licence, ENS Lyon.
- EVARD N., HUYNEN A.M. & BUEGER-VANDER BORGHT C. (1995). Communication d'un savoir scientifique en classe De la verbalisation au concept d'équilibre chimique. *Didaskalia*, n°6, p. 9-37.
- FENSHAM P. (1994). Beginning to teach chemistry. In P. Fensham, R. Gunstone, R. Write (eds). *The Content of Science* (London: Falmer Press), p. 14-28.
- GABEL D. (1999). Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research : A look to the Future. *Journal of Chemical Education*, Vol.76, n°4 p.548-554.
- GARNETT P.J., GARNETT P.J. & HACKLING M.W. (1995). Student's alternative conceptions in chemistry : a review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, Vol.25, p.69-95.
- GILBERT J. K. & WATTS D. M. (1983). Concepts, misconceptions and alternative conceptions : changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, Vol.10, p.61-98.
- HUHEEY J., KEITER E. & KEITER R. (1996). *Chimie inorganique*. Paris, Bruxelles, De Boeck Université.
- JOHNSTONE A.H. (1993). The Development of Chemistry Teaching. *Journal of Chemical Education*, Vol. 70, n°9, p.701-705.
- KORTLAND J. (2001). *A Problem Posing Approach to Teaching Decision Making about the Waste Issue* (Utrecht: Universiteit Utrecht).
- LABORDE C. (1997). Affronter la complexité des situations d'apprentissage de mathématiques en classe – Défis et tentatives. *Didaskalia*, n°10, p.99–112.
- LABORDE C., COQUIDE M. & TIBERGHIE A. (2002). Situations de formation dans l'enseignement en vue de l'apprentissage du savoir scientifique et mathématique. In A. Tiberghien (ed.) *Des connaissances naïves au savoir scientifique* (Paris: Programme 'Ecole et sciences cognitives', ministère de la recherche), p.107–143.
- LAKOFF G. & JOHNSON M. (1980). The metaphorical structure of the human conceptual system. *Cognitive Science*, Vol.4, p.195-208.
- LAUGIER A. & DUMON A. (2000). Travaux pratiques en chimie et représentation de la réaction chimique par l'équation-bilan dans les registres macroscopique et microscopique : une étude en classe de Seconde (15-16 ans). *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, Vol.1, n°1, p. 61-75.
- LE MARECHAL J.F. (1999). Modelling students' cognitive activity during the resolution of problems based on experimental facts in chemical education. In J. Leach and A.C. Paulsen (eds). *Practical work in Science Education*.
- LEACH J. & SCOTT P.(2002). Designing and evaluating science teaching sequences: an approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist

- perspective on learning. *Studies in Science Education*, Vol.38, p.115–142.
- LEACH J. and SCOTT P. (2002). Designing and evaluating science teaching sequences: an approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. *Studies in Science Education*, Vol.38, p.115–142.
- LIJNSE P. (2000). Didactics of science: the forgotten dimension in science education research? In R. Millar, J. Leach and J. Osborne (eds). *Improving Science Education: The Contribution of Research* (Buckingham: Open University Press), p.308–326.
- MAHE R. & FRAISSARD J. (1989). *Equilibres chimiques en solution aqueuse*. Masson, Paris.
- MAYRARGUE-KODJA A. (1993). Que représente une équation chimique ? In 9^{ème} JIREC, Montpellier, août 1993.
- MEHEUT M. (1997). Designing a learning sequence about a pre-quantitative kinetic model of gases: the parts played by questions and by a computer-simulation. *International Journal of Science Education*, Vol.19, n°6, p. 647–660.
- MEHEUT M. (1989). Des représentations des élèves au concept de réaction chimique : premières étapes. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°716, p.997-1012.
- MILLAR R., LE MARECHAL J.-F. & TIBERGHIE A (1998). A map of the variety of labwork. Working paper 1. Projet européen : Labwork in Science Education (Contrat n° ERB-SOE2-CT-95-2001).
- NAKHLEH M.B. (1992). Why some students don't learn chemistry : chemical misconceptions. *Journal of Chemical Education*, Vol. 69, n°3, p.191-196.
- PEKDAG B. & LE MARECHAL J.-F.(2001). Apprentissage comparé de la notion de réaction chimique en TP ou à l'aide d'une vidéo : rôle des observations faites par les élèves. *Skhôle, Cahier de la recherche et du Développement, numéro hors série*, IUFM Académie d'Aix-Marseille, p.129-141.
- PLETY R. (1996). *L'apprentissage coopérant*. Lyon, Presses Universitaires de Lyon.
- RICHARD J.-F. (1990). *Les activités mentales*. Paris, Armand Colin.
- ROBARDET G. (1997). Enseigner les sciences physiques à partir des situations-problèmes. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°720, p.17-28.
- ROSS B. & MUNBY H. (1991). Concept mapping and misconceptions : a study of high-school students' understandings of acids and bases. *International Journal of Science Education*, Vol.13, n°1, p.11-23.
- SCHMIDT H.J. (1991). A label as a hidden persuader : chemists' neutralization concept. *International Journal of Science Education*, Vol.13, n°4, p.459-471.
- SCHMIDT H.J. (1995). Applying the concept of conjugation to the Bronsted theory of acid-base reactions by senior high school students from Germany. *International Journal of Science Education*, Vol.17, n°6, p.733-741.
- SEJOURNE A. (2001). *Conception d'un hypermédia et analyses de l'influence de l'organisation des contenus sur l'activité des élèves : Le cas de « Labdoc Son et Vibrations »*. Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2.
- SERE M.G. & BENEY M. (1997). Le fonctionnement intellectuel d'étudiants réalisant

- des expériences : observation de séances de travaux pratiques en premier cycle universitaire scientifique. *Didaskalia*, n°11, p.73-102.
- SOLOMONIDOU C. & STAVRIDOU H. (1994). Les transformations des substances, enjeu de l'enseignement de la réaction chimique. *Aster*, n°18, p.75-95.
- STAVRIDOU H. & SOLOMONIDOU C. (1998). Conceptual reorganization and the construction of the chemical reaction concept during secondary education., *International Journal of Science Education*, Vol.20, n°2, p.205-221.
- TABER K.S. (1998). An alternative conceptual framework from chemistry education. *International Journal of Science Education*, Vol.20, n°5, p.597-608.
- TIBERGHIEA. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, Vol.4, p.71-87.
- TIBERGHIEA. (1994/1995). *Les conceptions*. Cours de DEA de didactique des disciplines scientifiques. Université Lyon I.
- TIBERGHIEA. (1996). Construction of prototypical situations in teaching the concept of energy. *In Research in Science Education in Europe*, Current issues and themes. Welford G., Osborne J. & Scott P. (Eds.). London, The Falmer Press.
- TIBERGHIEA., VEILLARD L., BUTY C. & LE MARÉCHAL J.-F. (1998). Analysis of Labwork sheets used at the upper secondary school and the first years of university. Working paper n° 3, "Labwork Science Education" Project.
- TIBERGHIEA., VEILLARD L., LE MARECHAL J.-F. , BUTY C. & MILLAR R. (2001). An analysis of labwork tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several european countries. *Science Education*, Vol. 85 , p.483-508.
- VINCE J. (2000). *Approches phénoménologiques et linguistique des connaissances des élèves de 2^{nde} sur le son. Contribution à l'élaboration et l'analyse d'un enseignement et au développement d'un logiciel de simulation*. Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2.