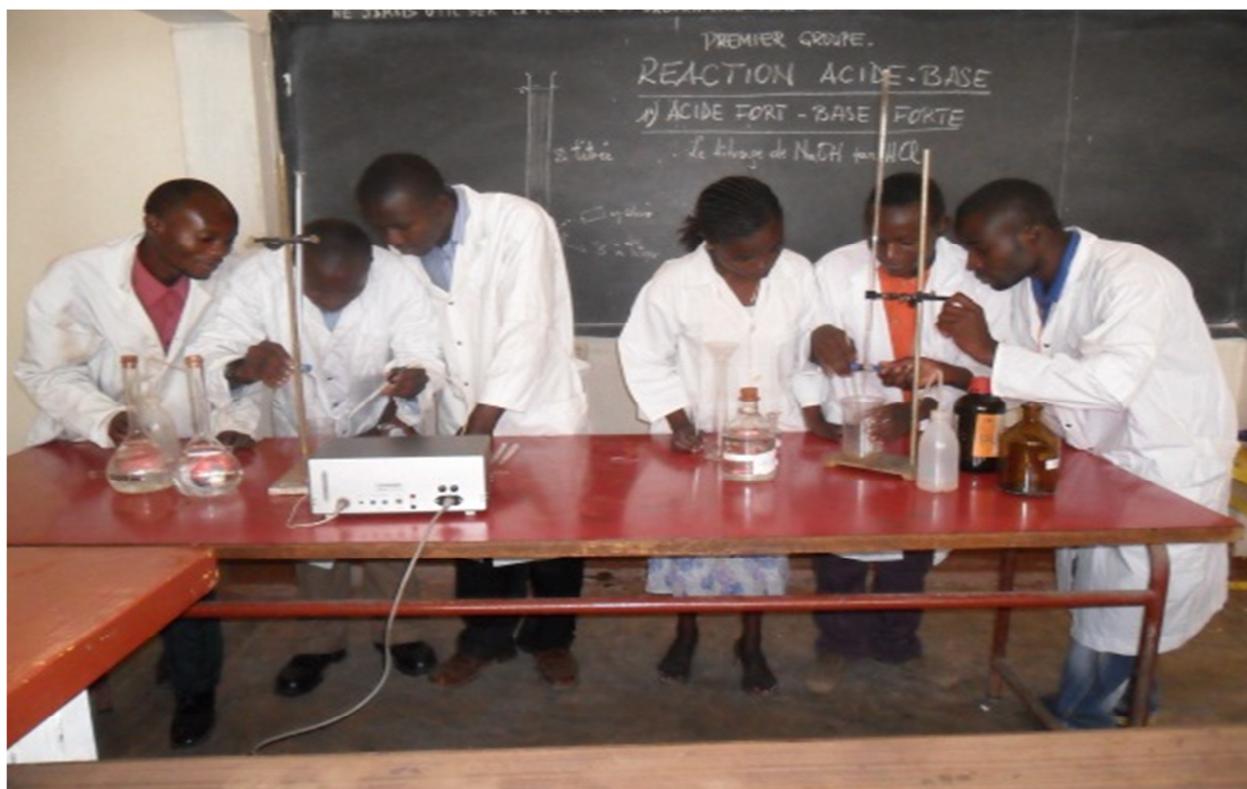


Les modèles et la modélisation de la réaction acide-base dans le curriculum scolaire. Une contribution en didactique de la chimie dans l'enseignement secondaire supérieur en République Démocratique du Congo



Mano Machumu Innocent

Dissertation originale présentée pour l'obtention du
grade académique de Docteur

Septembre 2011

Université de Mons
Faculté de Psychologie et Sciences de l'éducation

**Les modèles et la modélisation de la réaction acide-base
dans le curriculum scolaire. Une contribution en didactique
de la chimie dans l'enseignement secondaire supérieur en
République Démocratique du Congo**

Mano Machumu Innocent

Dissertation originale présentée pour l'obtention du
grade académique de Docteur

Membres du Jury

- Prof. Kathy Huet, UMONS, Faculté de Psychologie et Sciences de l'Education
- Dr Francesco Lo Bue, UMONS, Faculté de Sciences
- Prof. émérite Martine Méheut, Université de Paris VII, Faculté de Sciences
- Prof. Bruno de Lièvre, UMONS, Faculté de Psychologie et Sciences de l'Education
- Prof. Cécile Moucheron, ULB, Faculté de Sciences
- Prof. Marc Demeuse, Promoteur, Faculté de Psychologie et Sciences de l'Education
- Prof. Didier Villers, Promoteur, Faculté de Sciences

Septembre 2011

Remerciements

Pendant la réalisation de cette thèse, j'ai bénéficié du soutien des hommes et des femmes de bonne volonté, ce qui m'a permis d'avoir plus de vigueur et de la réaliser avec passion. Je remercie toutes ces personnes pour leur aide gratuite et permanente. J'en cite certaines qui ont laissé une marque indélébile dans mon parcours.

Mes promoteurs, les professeurs Marc Demeuse et Didier Villers m'ont fait confiance et consacré à mes travaux une attention particulière. Ils m'ont prodigué des conseils, formulé des remarques et des suggestions pendant la réalisation des travaux et la rédaction du manuscrit. Je leur dis grand merci.

Mes remerciements s'adressent également au professeur Pol Dupont pour avoir amorcé les ébauches de ce travail, au professeur Augustin Bashwira de l'Institut Supérieur Pédagogique de Bukavu et à monsieur Michel Dramaix dont les conseils et les suggestions ont guidé la récolte des données. J'exprime également ma gratitude aux collègues enseignants de Bukavu et de la Province de Hainaut pour m'avoir facilité la récolte des données. Je remercie aussi les membres du laboratoire Interfaces et Fluides Complexes que j'ai pu côtoyer l'excellente ambiance que j'ai ressentie tout au long de mes journées de travail à l'Université de Mons. Que madame Magali Brotcorne du service méthodologie et formation trouve également à travers ces lignes mes remerciements pour l'attention qu'elle a accordée au manuscrit de cette thèse.

Nos remerciements s'adressent aussi à tous les membres du jury pour avoir accepté de participer à l'évaluation de ce travail. En particulier, je les adresse à Madame Martine Méheut, professeure émérite à l'université de Paris VII et spécialiste en didactique de la chimie ; à Madame Cécile Moucheron, professeure de l'université Libre de Bruxelles, pour m'avoir fait le même honneur.

J'ai particulièrement une pensée émue pour mon feu père, Pierre Machumu et ma mère, Marcelline Nankafu ainsi que mes frères et sœurs, en particulier les aînés Job Kadaku & Robert Bahala, qui ont récemment quitté la terre des hommes. Ils ont été les piliers fondateurs de ce que je suis aujourd'hui. Merci pour leurs soutiens et leurs encouragements indéfectibles. Ils tiennent toujours une place primordiale dans ma vie.

Le plus fort de mes remerciements est à ma famille. Je dédie cette thèse à toi mon épouse, Mireille Nsimire et à nos enfants : Dorcas Nzigire, Pierre Machumu, Lizza Lola, Hervé Hwaba et Grace Ilunga. Vous avez souffert à cause de mes longues absences répétées et accepté de suivre mes conseils à distance. Je ne trouve pas assez de mots pour vous remercier puisque vous constituez toute ma fierté et le prolongement de ma vie.

Enfin, je remercie la Coopération Technique Belge (CTB) et le Conseil Universitaire pour le Développement (CUD) dont les soutiens financiers m'ont permis de réaliser cette thèse dans les bonnes conditions.

Table des matières

Introduction générale	1
1. Contexte de l'étude, objectifs et motivations	2
2. Questions de recherche	4
3. Organisation de la thèse	9
Chapitre 1.	13
Les généralités sur les modèles et la modélisation de la réaction acide-base	13
1.1. Description des modèles acide-base	14
1.1.1. Historique des modèles acide - base.....	14
1.1.2. Le couple et la réaction acide - base	16
1.1.3. La force des acides et des bases.....	17
1.2. Importance des modèles et de la modélisation en didactique	18
1.3. Modèle de triple représentation de la matière	20
Chapitre 2.	21
Les modèles et la modélisation de la réaction acide-base dans le curriculum formel	21
2.1. Approche méthodologique.....	22
2.2. La réaction acide-base dans le programme officiel	23
2.3. La réaction acide-base dans les manuels scolaires	28
2.3.1. Nature et fonctions des manuels utilisés	28
2.3.2. Présentation des modèles acide-base proposés.....	29
2.4. Réaction acide-base dans les évaluations formelles.....	31

2.5. Réaction acide-base dans les notes des élèves et des enseignants	33
Chapitre 3.	35
Les modèles et la modélisation de la réaction acide-base dans le curriculum implanté	35
3.1. Généralités sur le “Pedagogical Content Knowledge” du professeur	36
3.1.1. Notion de “Pedagogical Content Knowledge”	36
3.1.2. Connaissance par les enseignants des modèles acide-base	37
3.2. Approche méthodologique.....	39
3.2.1. Caractéristiques générales des enseignants	39
3.2.2. Questions adressées aux enseignants.....	41
3.2.3. Évaluation de la connaissance des difficultés des élèves.....	42
3.2.4. Déroulement de l’enquête et récolte des données	43
a. <i>Questionnaire d’enquête</i>	43
b. Echantillon des copies des réponses fournies par les élèves.....	43
c. <i>Interviews</i>	43
3.2.5. Analyse et traitement des données recueillies	44
a. <i>Description et représentation du PCK</i>	44
b. <i>Appréciation des réponses fournies par les élèves</i>	45
3.3. Résultats relatifs à la description du PCK des enseignants congolais	45
3.3.1. Connaissance des modèles par les enseignants.....	45
a. <i>... sur le concept « acide »</i>	45
b. <i>... sur le concept « base »</i>	46
c. <i>... sur le concept « réaction acide-base »</i>	47
3.3.2. Connaissance du programme officiel	48
3.3.3. Connaissances supplémentaires	51
a. <i>Motivations d’ordre méthodologique</i>	53
b. <i>Motivations d’ordre pratique</i>	54

3.3.4.	Connaissance du contexte d'enseignement de la réaction acide-base	55
a.	<i>Connaissance de l'importance de l'enseignement</i>	55
b.	<i>Connaissance des difficultés d'enseignement</i>	57
3.3.5.	Connaissance des méthodes d'enseignement	58
a.	<i>Méthodologie appliquée par rapport à l'expérience professionnelle</i>	59
b.	<i>Perceptions globales sur l'enseignement de la réaction acide-base</i>	61
•	Facilité/difficulté de l'enseignement selon niveau d'études de l'apprenant.....	61
•	Facilité/difficulté de l'enseignement selon la méthode d'enseignement appliquée.....	63
•	Facilité/difficulté de l'enseignement selon l'expérience professionnelle.....	66
c.	<i>Procédés et méthodes d'enseignement en classe</i>	69
•	Méthode préconisée par l'enseignant pour enseigner la réaction acide-base.....	69
3.3.6.	Connaissance des raisonnements et des difficultés des élèves	72
3.3.7.	Méthodes d'évaluation de la compréhension par les élèves.....	79
3.3.8.	Expérience du professeur sur les difficultés d'apprentissage	81
	Conclusion partielle.....	83
3.4.	Impact de la présentation des réponses des élèves aux enseignants	86
3.4.1.	Présentation d'un échantillon des copies des réponses	86
3.4.2.	Présentation des résultats globaux	87
3.4.3.	Principales réactions des enseignants.....	89
3.4.4.	Difficultés conceptuelles des enseignants.....	93
	Conclusion partielle.....	96
3.5.	Représentation du PCK (partie synthétique)	97
Chapitre 4.	101
Les modèles et la modélisation de la réaction acide-base dans le curriculum maîtrisé par les élèves.....	101
4.1.	Styles d'apprentissage et théorie des situations	102
4.1.1.	Styles d'apprentissage.....	102
4.1.2.	Théorie des situations	104
a.	Situation adidactique	104
b.	Apprentissage coopératif	106

c.	Apprentissage actif : réaliser les travaux pratiques	107
i.	Buts et importance des travaux pratiques	107
i.	Efficacité des travaux pratiques	109
4.2.	Travaux antérieurs sur les conceptions et les difficultés des étudiants	110
4.2.1.	... sur la réaction chimique	111
4.2.2.	... sur la réaction acide – base	117
4.3.	Approche méthodologique.....	123
4.3.1.	Choix de la population des élèves	123
4.3.2.	Détermination des styles d'apprentissage	125
4.3.3.	Etalonnage des instruments de mesure.....	126
a.	Résultats selon le genre.....	127
b.	Résultats selon la forme de la question	128
4.3.4.	Catégories des questions et tests soumis aux élèves congolais.....	128
4.3.5.	Situation d'enseignement : réalisation des travaux pratiques.....	131
4.3.6.	Déroulement des tests et récolte des données	131
4.3.7.	Analyse et traitement des données recueillies	133
4.4.	Résultats relatifs aux conceptions et aux difficultés des élèves	134
4.4.1.	Difficultés et conceptions après enseignement théorique	134
a.	... sur le concept de réaction chimique	134
b.	... sur les concepts : acide, base et réaction acide-base	138
	Conclusion partielle.....	146
4.4.2.	Difficultés et conceptions après réalisation des travaux pratiques	147
A.	Résultats globaux	147
a.	<i>Connaissance des concepts</i>	147
b.	<i>Compréhension des propriétés qualitatives</i>	156
-	Variation de l'acidité d'une solution (référence test 2)	156
-	Force d'un acide (référence test 2)	158
-	Couple acide – base conjuguée (référence au test 3)	162
c.	<i>Compréhension des propriétés quantitatives</i>	167
-	Mesure du pH (référence test 2).....	167

-	Réaction de neutralisation (référence tests 2 & test 3).....	172
B.	Performances	175
a.	<i>Performance au test 2</i>	175
-	Performance globale de réussite.....	175
-	Performance selon les styles d'apprentissage des élèves.....	176
-	Effet TP1 sur la performance.....	178
-	Effet interaction professeur – élèves sur la performance.....	178
-	Effet combiné TP1 et interaction sur la performance	181
b.	<i>Performance au test 3</i>	182
-	Performance globale de réussite.....	182
-	Performance selon le mode d'interaction des élèves	183
-	Effet combiné des variables TP2 et interaction sur la performance	185
c.	<i>Performance globale aux tests</i>	186
-	Evolution de la connaissance des concepts	186
-	Evolution générale de la performance	187
C.	Progrès réalisés à l'issue du travail pratique TP1	188
a.	<i>Transfert des groupes d'élèves</i>	188
b.	<i>Appropriation progressive de la conception de Bronsted</i>	190
c.	Acquisition des concepts d'acidité selon le modèle de Bronsted	192
d.	<i>Détermination du progrès réalisé par croissance normalisée</i>	193
D.	Difficultés des élèves à la fin des travaux pratiques.....	195
a.	<i>... après TP1</i>	195
b.	<i>... après TP2</i>	196
	Conclusion partielle.....	198
	Conclusions générales et recommandations.....	203
	Références bibliographiques	219
	Liste des annexes (sur le support CD).....	229

Liste des tableaux

- Tableau 1. Historique des modèles acide-base (Barke et al. 2009; Cachau- Herreillat, 2009)
- Tableau 2. Modèles classiques et leur limite de validité (Cachau- Herreillat, 2009 ; Kolb, 1978)
- Tableau 3. Répartition des modèles acide-base dans le programme de chimie/niveau d'études
- Tableau 4. Différents modèles proposés dans les manuels selon les auteurs (enquête de terrain)
- Tableau 5. Fréquence des questions posées par année (de 1997 à 2009) et par matière prévue sur la réaction acide – base (Bashamuka & Mano, 2009 en annexe 5; Inspectorat général, 2010).
- Tableau 6. Descriptif des caractéristiques des enseignants ayant participé à l'enquête
- Tableau 7. Catégories des réponses fournies relatives à la connaissance du programme officiel
- Tableau 8. Catégories des réponses fournies indiquant les connaissances supplémentaires
- Tableau 9. Catégories des réponses fournies indiquant l'importance de l'enseignement
- Tableau 10. Catégories des réponses fournies indiquant les difficultés d'enseignement
- Tableau 11. Perceptions des enseignants en suivant le modèle d'Arrhenius
- Tableau 12. Perceptions des enseignants en suivant le modèle Bronsted
- Tableau 13. Perceptions des enseignants en suivant le modèle Lewis
- Tableau 14. Catégories des réponses fournies par les enseignants sur la méthodologie suivie
- Tableau 15. Catégories des réponses fournies par les enseignants indiquant les raisons du choix de la méthode particulière
- Tableau 16. Catégories des réponses fournies indiquant les difficultés des élèves
- Tableau 17. Catégories des réponses fournies indiquant les raisonnements des élèves
- Tableau 18. Catégories des réponses indiquant les autres facteurs qui influencent l'enseignement
- Tableau 19. Catégories des réponses fournies relatives à l'évaluation de la compréhension
- Tableau 20. Catégories des réponses fournies en rapport à l'expérience vécue par le professeur
- Tableau 21. Fréquences des réactions des enseignants aux réponses de l'élève à la question 1
- Tableau 22. Récapitulation des bonnes réponses fournies par les enseignants
- Tableau 23. Difficultés systématiques identifiées chez les enseignants
- Tableau 24. Difficultés identifiées chez les enseignants et les erreurs associées
- Tableau 25. Répartition de la population d'élèves par école
- Tableau 26. Quelques conceptions alternatives des élèves sur la réaction chimique
- Tableau 27. Quelques conceptions alternatives des élèves sur l'acide
- Tableau 28. Quelques conceptions alternatives des élèves sur la base
- Tableau 29. Quelques conceptions alternatives des élèves sur la réaction acide-base
- Tableau 30. Corrélations Pearson internes entre les catégories des réponses fournies au test 1
- Tableau 31. Résumé des conceptions initiales des élèves
- Tableau 32. Tableau croisé des fréquences des conceptions sur l'acide et la base
- Tableau 33. Tableau croisé des fréquences des conceptions sur l'acide et la réaction acide-base
- Tableau 34. Tableau croisé des fréquences des conceptions sur la base et la réaction acide- base
- Tableau 35. Corrélations Pearson internes entre les questions de la première catégorie
- Tableau 36. Corrélations Pearson internes entre les réussites aux questions
- Tableau 37. Tableau croisé des fréquences des réponses relatives à l'augmentation et à la diminution de l'acidité (Q4 et Q5)
- Tableau 38. Tableau croisé des fréquences des réponses relatives à la force d'un acide et à l'augmentation de l'acidité (Q8 et Q4)

Tableau 39. Tableau croisé des fréquences des réponses relatives à la force d'un acide et à la diminution de l'acidité (Q8 et Q5)

Tableau 40. Corrélations Pearson internes entre les réponses aux questions de la catégorie 2

Tableau 41. Fréquence des réponses relatives à l'établissement d'un équilibre acide-base (partie A)

Tableau 42. Fréquences des réponses relatives à l'établissement d'un équilibre acide-base (partie B)

Tableau 43. Corrélations Pearson internes entre les réponses relatives au couple et à l'équilibre acide-base

Tableau 44. Tableau croisé des fréquences des réponses relatives au pH d'une solution et la force d'un acide (Q7 et Q9)

Tableau 45. Corrélations Pearson internes entre les différentes catégories au test 2

Tableau 46. Valeurs statistiques relatives aux cotes obtenues selon la catégorie des questions

Tableau 47. Valeurs des statistiques F et t relatives à la comparaison des groupes d'élèves (Échantillons indépendants)

Tableau 48. Valeurs statistiques relatives aux cotes obtenues selon la catégorie des questions

Tableau 49. Valeurs statistiques relatives aux cotes obtenues selon la catégorie des questions

Tableau 50. Valeurs des statistiques F et t relatives aux variances et aux moyennes par catégorie

Tableau 51. Corrélations Pearson internes entre les différentes catégories au test 3

Tableau 52. Fréquences des élèves ayant changé de conception d'acide après TP1

Tableau 53. Fréquences des élèves ayant changé de conception de base après TP1

Tableau 54. Fréquences des élèves ayant changé de conception de « réaction acide-base » après TP1

Tableau 55. Partitionnement des élèves suivant les degrés d'acquisition des concepts de Bronsted.

Tableau 56. Progrès réalisés dans l'acquisition des concepts selon Bronsted au post-test

Liste des figures

- Figure 1. Organisation de la thèse
- Figure 2. Composantes de la chimie nouvelle : le triangle chimique selon Johnstone (2000)
- Figure 3. Pedagogical Content Knowledge (PCK)
- Figure 4. Fréquences des réponses des enseignants sur la connaissance du concept « acide »
- Figure 5. Fréquences des réponses des enseignants sur la connaissance du concept « base »
- Figure 6. Fréquences des réponses des enseignants sur la connaissance de « réaction acide-base »
- Figure 7. Méthodologie appliquée selon l'expérience professionnelle
- Figure 8. Enseignement de la notion d'acidité au niveau 1
- Figure 9. Enseignement de la notion d'acidité au niveau 2
- Figure 10. Enseignement de la notion d'acidité au niveau 3
- Figure 11. Enseignement de la notion d'acidité au niveau 4
- Figure 12. Perceptions des enseignants en suivant le modèle Arrhenius
- Figure 13. Perceptions des enseignants en suivant le modèle de Bronsted
- Figure 14. Perceptions des enseignants en suivant le modèle de Lewis
- Figure 15. Appréciation de l'enseignement du modèle d'Arrhenius par niveau et par ancienneté
- Figure 16. Appréciation de l'enseignement du modèle de Bronsted par niveau et par ancienneté
- Figure 17. Appréciation de l'enseignement du modèle de Lewis par niveau et par ancienneté
- Figure 18. Représentation du PCK des enseignants
- Figure 19. Styles d'apprentissage expérientiel de Kolb (Bourassa et al. 1999 ; Bretz, 2005 ; Towns, 2001)
- Figure 20. Triangle didactique
- Figure 21. Adaptation de l'apprenant au milieu
- Figure 22. Travail pratique, médiateur entre deux domaines de connaissance
- Figure 23. Styles d'apprentissage des élèves
- Figure 24. Schéma descriptif de la procédure de réalisation des tests selon le groupe de TP
- Figure 25. Concepts évoqués par les élèves et leurs fréquences à propos de la réaction chimique
- Figure 26. Fréquences des conceptions initiales des élèves sur les concepts, acide et base
- Figure 27. Fréquences des conceptions initiales des élèves sur la réaction acide - base
- Figure 28. Performance des élèves par catégorie des questions
- Figure 29. Performance des élèves au test 2 selon leurs styles d'apprentissage
- Figure 30. Evolution de la performance selon les catégories au test -2
- Figure 31. Performance des élèves au test 3 selon leurs styles d'apprentissage
- Figure 32. Evolution de la performance selon les catégories au test -2
- Figure 33. Evolution de la connaissance des concepts par les groupes d'élèves aux trois tests
- Figure 34. Variation de la performance aux différents tests
- Figure 35. Progression dans l'appropriation du savoir

Introduction générale

1. Contexte de l'étude, objectifs et motivations

En République Démocratique du Congo, la situation de l'enseignement des sciences et particulièrement celle de la chimie est préoccupante. En effet, en l'état actuel des choses, les élèves comme leurs enseignants n'ont accès ni aux documents actualisés, ni au matériel pour réaliser leurs travaux pratiques. Ils exercent un enseignement théorique et peu documenté (Lufimpadio, 1988). Une réforme de l'enseignement est toujours envisagée, mais les motivations et les orientations pour opérer cette réforme ne sont pas suffisamment établies. Cette étude vise à contribuer à trouver des pistes de solutions pour les décideurs et les autres instances en charge de l'éducation en République Démocratique du Congo.

En préliminaire, nous avons établi une comparaison des programmes de chimie en Belgique et en République Démocratique du Congo (Mano, 2006). Cette étude s'est poursuivie en Belgique en comparant les niveaux d'acquisition des connaissances par les élèves de sciences fortes en fin de secondaire supérieur (Mano et al. 2007 ; annexe 1). Il s'est avéré que les élèves congolais comme leurs homologues belges présentaient un niveau faible d'acquisition des connaissances. Les élèves congolais, en particulier, présentaient des faibles compétences sur des questions relatives à la compréhension de la réaction chimique. Cette étude a confirmé les résultats de l'étude que nous avons réalisée une année plus tôt auprès des étudiants congolais âgés de 15 à 16 ans sur la réaction chimique (voir annexe 2).

Ainsi, le concept de réaction chimique pose des problèmes de compréhension. Or, la réaction chimique est un concept fondamental et essentiel en chimie. Elle est au cœur des transformations de la matière. Sa connaissance par les élèves est non seulement un préalable pour mieux aborder divers aspects de la chimie, mais aussi d'une importance capitale dans les domaines connexes comme la biologie, l'ingénierie, l'agronomie, la médecine....

Recueillir des informations didactiques sur la réaction chimique à ce niveau nous permettra d'évaluer la maîtrise du programme par les élèves et de son application par les enseignants.

Il se fait qu'en dernière année secondaire, option sciences fortes, la réaction chimique est présentée sous différentes formes dont les deux principales sont la réaction acide-base et la réaction d'oxydoréduction, la première étant un prérequis pour la seconde (Kolb, 1978 ; Pirson, 2004). De plus, la réaction acide-base a plusieurs applications dans le milieu de vie de

l'apprenant congolais : d'où la primauté et la nécessité didactiques de l'aborder par rapport à la réaction redox.

Afin d'avoir une idée globale sur la manière dont le programme est assimilé, nous allons examiner la manière dont les principaux acteurs, enseignants et élèves, procèdent pour comprendre comment les premiers enseignent cette partie du cours et comment les seconds se l'approprient (Barke et al. 2009 ; Pirson, 2004).

Réaliser une étude sur l'apprentissage de la réaction acide-base par les élèves nous permettra de prendre connaissance de leurs conceptions et difficultés actuelles. Une autre étude axée sur les connaissances professionnelles des enseignants contribuera à proposer, dans le cas du Congo, leur formation continuée. L'ensemble de ces études nous permettra de proposer une méthodologie à suivre pour aider les élèves à résoudre leurs difficultés et de disposer des arguments étayés en vue d'une réforme ultérieure du programme de chimie sur ce point précis.

Dans le cadre de la formation des enseignants, la description de la connaissance professionnelle du professeur qualifié et expérimenté contribuera grandement à la formation des nouveaux enseignants en République Démocratique du Congo. Ces derniers prendront conscience, dès le début de leur carrière, de l'importance de la formation pédagogique et de l'expérience professionnelle en ce qui concerne les difficultés des élèves et les méthodes utilisées pour les résoudre. Aussi, la description de la connaissance des enseignants couplée à la connaissance des difficultés réelles des étudiants aidera les enseignants à développer davantage leur connaissance professionnelle.

Sur le plan empirique, l'étude consiste à mener une série d'enquêtes auprès des enseignants et des élèves : interviews, tests, travaux pratiques... sur la connaissance des modèles acide-base.

En outre, cette étude vise les principaux objectifs qu'on peut résumer en ces termes :

- révéler les capacités, les conceptions et les difficultés actuelles des élèves ;
- décrire la connaissance professionnelle des enseignants ou leur « *Pedagogical Content Knowledge* » (PCK) [Gess-Newsome, 1999a, b ; Loughran et al. 2004 & 2006,

Shulman, 1986 & 1987], sur les modèles et la modélisation de la réaction acide-base en vue d'augmenter la performance didactique ;

- à partir de la description de la connaissance professionnelle, établir la maîtrise de la connaissance des modèles acide-base par le professeur et comprendre la manière dont la connaissance de la pédagogie et la connaissance disciplinaire interagissent pour atteindre les objectifs didactiques en classe ;
- à partir des constats liés à cette partie de la matière du cours de chimie, proposer des améliorations générales de la qualité de l'enseignement de la chimie en République Démocratique du Congo sur différents points : une réforme du programme de cours, une (des) méthodologie(s) à utiliser et une formation continuée des enseignants.

2. Questions de recherche

La littérature publiée sur les raisonnements, les difficultés des étudiants et le PCK des enseignants ainsi que l'analyse du curriculum formel sur la réaction acide-base nous permettent de définir les axes de recherche. Si la littérature peut être considérée comme riche en ce qui concerne les conceptions et les difficultés des étudiants, elle reste ouverte concernant les approches pédagogiques : c'est-à-dire faire évoluer les conceptions ou résoudre les difficultés. De plus, elle s'est limitée essentiellement à établir les perceptions des enseignants sur l'enseignement des modèles acide-base ainsi que leur connaissance des difficultés des élèves. Les études ciblées portant sur la connaissance par les enseignants des modèles précis et de l'évolution de la modélisation ne sont pas suffisamment exploitées. Aussi, les études qui portent sur les connaissances des professeurs et qui mettent en parallèle celles de leurs élèves sont rares.

En préliminaire, il faudra décrire la manière dont le prescrit du curriculum de chimie présente la réaction acide-base aux élèves et à leurs enseignants. Il s'agit de préciser la manière dont la réaction acide-base est présentée dans le contenu du programme, dans les ouvrages et les manuels scolaires, mais aussi d'apprécier l'importance que les évaluateurs accordent à cette partie du cours de chimie au cours des examens de certification.

Une première direction de recherche est de comprendre comment se présentent les modèles et la modélisation de la réaction acide-base dans le curriculum implanté. Il s'agit en fait de déterminer les connaissances des enseignants sur la réaction acide-base.

La question principale se pose en ces termes : quelle est la nature du PCK des enseignants sur la réaction acide-base ? L'objectif est d'évaluer le niveau de connaissance par les enseignants de ces modèles et la manière dont ils s'y prennent pour les enseigner afin d'aider les étudiants à s'approprier la réaction acide-base. Les questions qui en découlent, se rapportent aux principales composantes du PCK. Il s'agit de la connaissance (maîtrise) du sujet par l'enseignant, de la connaissance du contexte d'enseignement, de la connaissance des raisonnements et des difficultés des élèves ainsi que de la connaissance des méthodes utilisées pour les résoudre.

La première série de questions consiste à établir les connaissances de base de l'enseignant sur la réaction acide-base. Les connaissances qu'ils enseignent à leurs élèves sont-elles appropriées ou adaptées ? Plus précisément :

- *de quelles connaissances disposent les enseignants sur les concepts « acide, base, réaction acide-base » ? les connaissances initiales et les connaissances actuelles et enseignées aux élèves sont-elles différentes ? les connaissances initiales ont-elles évolué ?*
- *quels sont les éléments importants à enseigner aux étudiants sur la réaction acide-base ?*
- *quelles sont les autres connaissances dont disposent les enseignants sur la réaction acide-base qu'ils n'enseignent pas actuellement à leurs élèves ?*

Une seconde série de questions se rapporte aux compétences pédagogiques de l'enseignant et à la connaissance du contexte d'enseignement : l'importance accordée à l'enseignement de cette notion, les méthodes utilisées pour l'enseigner et les difficultés d'enseignement. Elle englobe les questions suivantes :

- *en quoi l'enseignement de la réaction acide-base est-il important pour les élèves ?*
- *quelles difficultés d'enseignement les enseignants connaissent-ils de la réaction acide-base ?*

- *comment les enseignants apprécient-ils leur enseignement en adoptant les différents modèles acide-base ?*
- *comment le professeur de chimie procède-t-il pour enseigner la réaction acide-base ?*
- *quelle méthode est-elle préconisée par l'enseignant pour enseigner la réaction acide-base ?*
- *en quoi cette méthode est-elle jugée plus appropriée à cet enseignement ?*

Une troisième série de questions se rapporte à la connaissance par l'enseignant des conceptions, des raisonnements et des difficultés d'apprentissage de ses élèves :

- *quelles conceptions initiales des élèves les enseignants connaissent-ils ? Quels raisonnements et quelles difficultés d'apprentissage de la réaction acide-base par élèves les enseignants connaissent-ils ?*
- *comment raisonnent les élèves au cours de l'enseignement de la réaction acide-base ? Lequel des raisonnements des élèves influence l'enseignement de la réaction acide-base ?*
- *quels sont les autres facteurs qui influencent l'enseignement de la réaction acide-base ?*
- *comment les enseignants évaluent-ils la compréhension de la réaction acide-base par leurs élèves ?*

Une dernière question est relative à l'expérience personnelle de l'enseignant qui pourrait influencer d'une manière ou d'une autre son enseignement : quelles sont les difficultés de son propre apprentissage de la réaction acide-base dont se souvient l'enseignant ?

En vue d'évaluer la connaissance par les enseignants des difficultés des élèves, nous devons les mettre en situation de commenter les réponses des élèves. Dans ce sens, une seconde direction de recherche est de savoir si les enseignants détectent les difficultés d'apprentissage dans les réponses des élèves et d'estimer par conséquent la maîtrise des notions d'acidité par les enseignants. Les différentes questions auxquelles cette partie va répondre sont les suivantes :

- *les enseignants identifient-ils les erreurs ou les difficultés d'apprentissage dans les réponses fournies par les élèves ?*
- *quelles sont les difficultés qui ressortent de l'appréciation par les enseignants des réponses des élèves ?*

Une troisième direction de recherche est de savoir comment se présentent les modèles et la modélisation de la réaction acide-base dans le curriculum maîtrisé. Il s'agit de connaître les difficultés et les raisonnements des élèves sur la réaction acide-base en adoptant le modèle de Bronsted. Il s'agit d'abord de savoir lequel des modèles est finalement connu par les élèves à la fin de leurs études secondaires. Sur le plan empirique, le programme vise implicitement l'acquisition du modèle plus développé, à savoir celui de Bronsted. De plus, les différentes difficultés présentées par la littérature sont perçues selon le modèle de Bronsted. Ainsi, un second axe de recherche s'oriente vers la connaissance de ce modèle par les élèves congolais.

La question principale qui se dégage est la suivante : quelles sont les conceptions et les difficultés des étudiants sur la réaction acide-base dans le cadre du modèle de Bronsted ? Pour répondre à cette question, il faudra prendre en compte la connaissance de différents concepts à savoir : les concepts de base (acide, base et réaction acide-base et les différentes applications (le couple acide-base, la force des acides et des bases, variation de l'acidité d'une solution, le pH des solutions et la réaction de neutralisation). Trois séries de questions secondaires sont alors construites.

La première série des questions se rapporte à la connaissance de la définition des concepts de base (acide, base, réaction acide-base) pour établir les préconceptions des élèves. *Quelles connaissances initiales les élèves ont-ils des concepts « réaction chimique, acide, base, réaction acide-base » ?*

Une seconde série de questions se rapporte à la connaissance des concepts de base selon le modèle de Bronsted, de l'appréciation de la force d'un acide, de la variation de l'acidité ainsi que la détermination du pH d'une solution. Les questions qui se rapportent à la connaissance de ces concepts et à la compréhension des propriétés d'acidité se résument de la manière suivante :

- *quelles connaissances les élèves ont-ils des concepts « acide, base, réaction acide-base » après avoir réalisé les travaux pratiques? Les élèves savent-ils définir des concepts « acide, base, réaction acide-base » ou identifier un acide ou une base de Bronsted dans une série d'espèces chimiques ?*

- *les élèves savent-ils apprécier la force d'un acide, la variation de l'acidité d'une solution ?*
- *les élèves savent-ils calculer le pH d'une solution?*
- *quel est l'apport d'une première séance des travaux pratiques sur l'acquisition de ces concepts?*

La troisième série de questions se rapporte aux éléments suivants : la neutralisation d'un acide ou d'une base, l'identification et la désignation du couple acide-base conjuguée dans un système en équilibre et son utilisation pour indiquer le sens de l'équilibre.

- *quelles connaissances les élèves ont-ils du couple acide-base conjugué ? Savent-ils l'identifier dans un système en équilibre ? Savent-ils s'en servir pour indiquer le sens de l'évolution de la réaction ? Peuvent-ils établir des équilibres acido-basiques en solution et mettre en évidence le couple acide-base ?*
- *comment les élèves apprécient-ils la neutralisation complète d'un acide faible par une base forte ou d'une base faible par un acide fort?*
- *quel est l'apport réel de la seconde séance de travaux pratiques sur l'acquisition de ces concepts?*
- *quelles sont les difficultés que rencontrent les élèves à la fin des travaux pratiques?*

Compte tenu de l'importance accordée par le programme officiel (DEPS, 1982) aux travaux pratiques, nous nous proposons d'évaluer à travers ces questions leur efficacité pour résoudre les difficultés des élèves. Contrairement aux travaux de recherche antérieurs, nous allons évaluer cette efficacité au moyen de tests en nous focalisant sur le domaine cognitif. Les résultats à ce stade pourront nous permettre de juger de l'opportunité de réaliser ces travaux pratiques au vu de l'investissement que cela exigerait à l'Etat congolais, pour l'achat des équipements de laboratoire et pour leur réalisation. Cela nous permettra aussi de juger de la pertinence de les réaliser sous la forme actuelle, amorçant dès lors une réflexion en vue d'une réforme ultérieure des programmes.

L'ensemble des questions adressées aux élèves permettra de : (i) prendre connaissance des difficultés des élèves et à partir de là, comprendre la manière dont le programme est assimilé à propos des concepts d'acidité, (ii) enrichir le PCK des enseignants (sur les

difficultés réelles des étudiants) et (iii) proposer une méthodologie appropriée pour résoudre leurs difficultés sur ce point précis.

En définitive, l'ensemble des réponses apportées à toutes ces questions vont nous permettre de comprendre comment se réalise le curriculum prescrit, d'établir le curriculum implanté par les enseignants, le curriculum réellement maîtrisé par les élèves et d'en dégager le curriculum caché et apporter ainsi des propositions concrètes en vue de l'améliorer.

3. Organisation de la thèse

Ce travail porte sur la description et l'analyse de la connaissance professionnelle des enseignants ainsi que celles des conceptions et des difficultés des élèves sur les modèles et la modélisation de la réaction acide-base comme présentés précédemment. Ces connaissances sont présentées selon les différentes formes du curriculum scolaire : le curriculum formel, le curriculum implanté et le curriculum maîtrisé. C'est pourquoi les volets d'étude de cette thèse sont présentés sur la figure 1 en suivant la hiérachisation et les connexions entre les différentes formes de curriculum. Sur cette figure, la notion de "modèles et de modélisation de la réaction acide-base" est présentée :

- d'abord comme savoir savant tel que connu par les scientifiques ;
- ensuite comme matière prescrite par l'autorité compétente dans le curriculum;
- puis comme matière implantée en classe par les enseignants (curriculum implanté) ; aussi comme matière maîtrisée par les élèves (curriculum maîtrisé).
- enfin comme matière enseignée ou apprise mais non prévue dans le curriculum ou inversement (curriculum caché) .

D'autre part, la figure 1 indique les deux principales parties qui composent cette thèse : la partie théorique en « gris » et la partie expérimentale en « gris clair ». Le travail expérimental concerne essentiellement les curriculums implanté et maîtrisé.

Dans le curriculum implanté, on distingue deux types de connaissances :

- la connaissance rattachée directement au professeur ;

- la connaissance qui met le professeur en relation avec ses élèves .

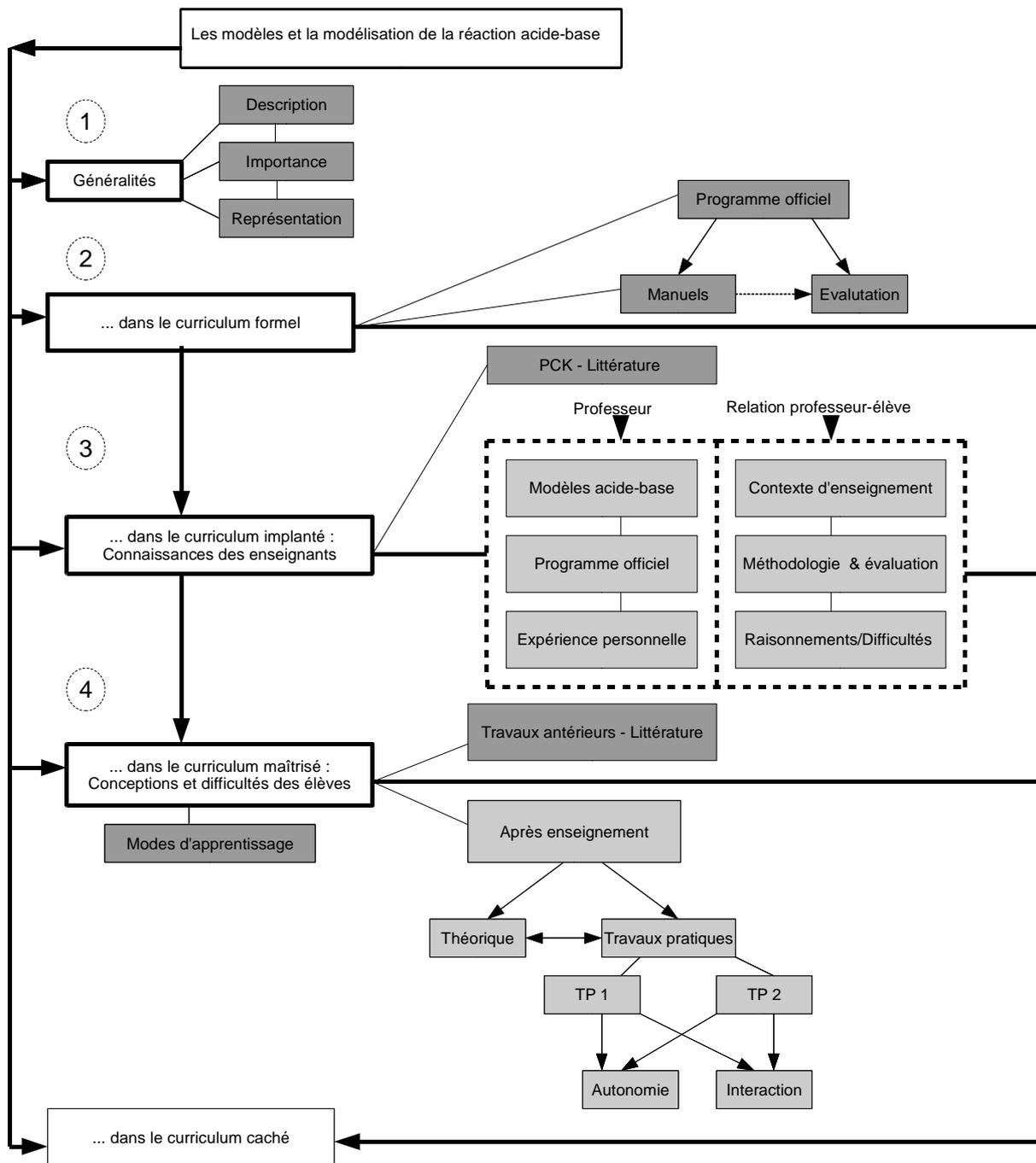


Figure 1. Organisation de la thèse

Légende :



Revue de la littérature
Travail expérimental de la thèse

Dans le curriculum maîtrisé, on trouve les conceptions et les difficultés d'apprentissage des élèves après enseignement théorique et après réalisation des travaux pratiques ; ces derniers s'exécutant par les élèves en autonomie ou en interaction avec le professeur.

Ainsi, les chapitres qui composent la structure de cette thèse sont indiqués par les chiffres 1, 2, 3, 4. Ils se présentent de la manière suivante :

- le premier chapitre porte sur les notions générales sur les modèles et la modélisation de la réaction acide-base comme savoir savant. Il s'agit de la description des modèles acide-base, leur importance en didactique de la chimie et la manière de les représenter.
- le second chapitre présente les modèles et la modélisation de la réaction acide-base dans le prescrit du curriculum : dans le contenu du programme officiel, les manuels scolaires et les évaluations formelles (examens d'Etat).
- le troisième chapitre présente les modèles et la modélisation de la réaction acide-base dans le curriculum implanté c'est-à-dire leur connaissance par les enseignants : la revue des travaux antérieurs et la présentation et la discussion des résultats du travail expérimental sur la connaissance rattachée directement au professeur et à celle qui met le professeur en relation avec les élèves : connaissance des modèles acide-base, programme officiel, expérience personnelle, méthodes d'enseignement, raisonnements et difficultés des élèves.
- le quatrième chapitre porte sur les modèles et la modélisation de la réaction acide-base dans le curriculum maîtrisé (conceptions et difficultés des élèves) : la revue de la littérature sur les travaux antérieurs et le travail expérimental sur l'évolution des conceptions et des difficultés des étudiants après enseignement théorique et après réalisation des travaux pratiques en autonomie ou en interaction avec le professeur.

Dans chaque chapitre, nous décrivons l'approche méthodologique que nous avons suivie pour récolter et analyser les données. On y trouve également une synthèse partielle. La partie relative aux conclusions et aux différentes recommandations qui se dégagent de l'analyse de différents résultats obtenus vient clôturer le travail.

Chapitre 1.
Les généralités sur les modèles et la modélisation de
la réaction acide-base

1.1. Description des modèles acide-base

1.1.1. Historique des modèles acide - base

Historiquement, pour expliquer les mêmes observations, les acides et les bases ont été expliqués de différentes manières par différents chimistes. La compréhension et l'explication ont conduit à la mise sur pied de différents modèles acide-base. Avec le temps, certaines de ces représentations se sont révélées insatisfaisantes. Des nouveaux modèles ont été introduits dans le but de fournir une meilleure description des phénomènes observés. Le tableau chronologique suivant reprend l'évolution historique des différents modèles acide-base.

Tableau 1. Historique des modèles acide-base (Barke et al. 2009; Cachau- Herreillat, 2009)

Période	Modèle envisagé
Antiquité	Le seul acide connu est le vinaigre
1100 – 1600	Les alchimistes séparent l'huile de vitriol (H_2SO_4) ; l'eau forte (HNO_3 à 36°Be) et l'eau régale (mélange $3HCl + 1HNO_3$ concentrés)
1650 – 1660	GLAUBER et BOYLE affirment que les acides et les bases sont des composés antagonistes. Ils découvrent que l'action des acides sur un métal ou son oxyde conduit à des sels privés des propriétés des réactifs. La partie non active des réactifs prend le nom de base
1777	ROUELLE définit la base comme étant une substance dont la réaction avec un acide forme un sel
	LAVOISIER émet l'hypothèse que tous les acides contiennent de l'oxygène
1778	LAVOISIER émet l'hypothèse que les oxydes non métalliques produisent des acides en solution aqueuse
1810	DAVY montre que l'acide dit muriatique ne contient pas d'oxygène et suggère que l'hydrogène soit le principe acidifiant
1816	DAVY affirme que les acides sont des composés hydrogénés
1838	LIEBIG reprend l'idée de DAVY et ajoute que tous les acides sont des composés hydrogénés dans lesquels l'hydrogène peut être remplacé par un métal
1840	GERHARDT contribue activement à imposer ce modèle grâce à la synthèse des anhydrides d'acides carboxyliques
1884	ARRHENIUS élabore le modèle ionique des acides et des bases
1923	BRONSTED et LOWRY d'une part élaborent le modèle du proton et LEWIS élabore le modèle électronique des acides et des bases

On distingue trois grands modèles acide-base à savoir les modèles d'Arrhenius, de Bronsted et de Lewis. Ces trois modèles ne sont pas contradictoires. Ils sont élaborés à des niveaux de compréhension différents pour rendre compte des phénomènes similaires. Chacun de ces modèles peut être abordé selon le niveau de compréhension qu'il permet d'atteindre pour décrire ou interpréter les phénomènes acide-base observés.

Tableau 2. Modèles classiques et leur limite de validité (Cachau- Herreillat, 2009 ; Kolb, 1978)

Modèle	Arrhenius	Bronsted	Lewis
	Modèle ionique	Modèle du proton	Modèle électronique
Acide	Composé qui se dissocie dans l'eau avec libération d'ions H ⁺	Espèce chimique susceptible de libérer un proton	Espèce qui peut accepter une paire d'électrons. L'acide de Lewis est électrophile
Base	Composé qui se dissocie dans l'eau avec libération d'ions H ⁺	Espèce chimique susceptible de capter un proton	Espèce qui peut donner une paire d'électrons. La base de Lewis est nucléophile
Réaction acide-base	Formation du sel et de l'eau	Transfert de proton entre donneur-accepteur	Transfert d'électrons donnant lieu à une liaison covalente
Équation	$H^+ + OH^- \rightleftharpoons H_2O$	$HA + B \rightleftharpoons HB + A$	$A + I B \rightleftharpoons A-B$
Limite de validité	Solution aqueuse	Réaction avec transfert de proton (solvant protique)	Modèle généralisé

Dans la plupart des pays, les deux premiers modèles sont prévus à l'école secondaire et le modèle de Lewis au supérieur. Cependant, en République Démocratique du Congo, on les aborde tous à l'école secondaire. Dans les lignes qui suivent, nous revenons sur le niveau de compréhension que ces différents modèles permettent d'atteindre.

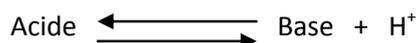
- Le modèle d'Arrhenius explique les acides au niveau phénoménologique (macroscopique) et au niveau particulaire (abstrait). Dans ce modèle, les propriétés des acides sont liées aux ions H⁺. Plus la concentration en ions H⁺ est élevée, plus la solution est acide. Les acides sont définis comme des substances capables de produire des ions H⁺ en solution aqueuse. Comparativement aux acides, les bases sont des substances qui libèrent des ions OH⁻ en solution aqueuse. Au cours d'une

réaction entre un acide et une base, il y a formation de l'eau et d'un sel.

- Le modèle de Bronsted : au niveau abstrait ou particulière (sub-microscopique), les propriétés des acides sont expliquées par le transfert de proton entre espèces chimiques, molécules ou ions. Dans ce modèle, l'acide donne le proton et la base accepte le proton. Quand un acide cède le proton, il devient base et quand la base capte le proton, elle devient acide. Alors acide et base sont conjugués.
- Le modèle de Lewis : au niveau particulière ou abstrait, les propriétés des acides et des bases sont expliquées par le transfert d'électrons entre les espèces. Dans ce modèle, la base est donc un donneur d'électrons (nucléophile) alors que l'acide est un accepteur d'électrons (électrophile).

1.1.2. Le couple et la réaction acide - base (Barke et al. 2009 ; Germain et al. 2001 ; Mollard, 2003)

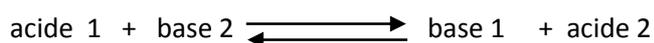
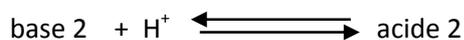
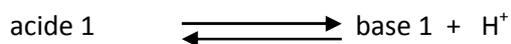
Bronsted fut le premier à introduire et développer le principe de donneur – accepteur, important dans la didactique de la chimie. Il propose la formation du couple acide - base conjugués dans la notion d'acidité précisant de manière claire la nature et la fonction des espèces chimiques après réaction acide-base. Bronsted a introduit cette idée comme une connexion réciproque des propriétés acide et base. Il stipule qu'à tout acide est associée une base et inversement. L'acide et la base définissent le couple acide-base ou acido-basique défini par la demi- équation équilibrée suivante :



Par exemple, les couples suivants: $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}/\text{CH}_3\text{CO}_2^-$, $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$, $\text{C}_2\text{H}_5\text{CO}_2\text{H}/\text{C}_2\text{H}_5\text{CO}_2^-$, $\text{H}_2\text{O}/\text{HO}^-$, $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O}$

Le proton n'existe pas à l'état libre. S'il est libéré, il faut qu'il trouve une base appartenant à un autre couple. Par exemple, dans une solution d'acide chlorhydrique, la seule base qui peut accepter le proton cédé par l'acide est l'eau. Par conséquent, il y a transfert du proton entre l'acide du premier couple acide-base et la base du deuxième couple acide-base. Il s'agit d'une réaction acido-basique.

La réaction acide-base est une réaction de transfert de protons entre un couple acide – base noté 1 et un autre couple noté 2. La théorie de Bronsted peut se résumer par trois équations :



La position de chaque équilibre dépend de la force des acides et des bases mis en présence.

1.1.3. La force des acides et des bases (Germain et al. 2001 ; Kolb, 1978)

Après qu'Arrhenius a développé la théorie d'ionisation, les différences entre les forces des acides ou des bases s'expliquent à partir du degré de dissociation/ionisation. En effet, les acides forts et les bases fortes se dissocient et s'ionisent complètement en solution alors que les acides ou les bases faibles le font très peu.

Parfois, le solvant dissimule les différences de force entre les acides ou les bases. En effet, les composés, meilleurs donateurs de protons que H_3O^+ , donnent cet ion dans l'eau et apparaissent comme ayant la même force. C'est l'effet nivelant de l'eau sur les acides. Cela signifie qu'une mole de n'importe quel acide fort en solution dans l'eau entraîne la formation d'une mole de H_3O^+ et donc d'une solution acide de même force. Par exemple, l'acide perchlorique est plus fort que l'acide chlorhydrique : les deux s'ionisent complètement dans l'eau et ont la même force car dans l'eau, ils sont réduits à la force de l'ion hydronium H_3O^+ . En effet, l'acide le plus fort qui peut exister dans un solvant donné est l'acide conjugué à ce solvant. Par exemple dans l'eau, c'est l'ion hydronium ; dans l'ammoniac, l'ion ammonium. Aussi, la base forte qui puisse exister dans une solution est la base conjuguée au solvant. Par exemple, l'ion hydroxyde OH^- et l'ion amidure NH_2^- sont des bases respectivement pour l'eau et pour l'ammoniac. Ici apparaît clairement le couple acide-base conjugué, une partie du modèle de Bronsted.

D'autre part, plus un acide est un bon donneur de protons, plus il est fort. A un acide fort correspond une base faible. Plus une base capte facilement des protons, plus elle est forte.

L'acide conjugué d'une base forte est un acide faible. Ainsi, les relations de forces des différents couples permettent d'établir une échelle relative globale des forces des acides et des bases. La force relative des acides par rapport à une base est déterminée grâce à la position d'équilibre :



La force d'un acide et celle de sa base conjuguée sont en relation réciproque et rattachée au solvant. Dans l'eau, le produit $K_a \times K_b = K_w$ avec K_a , K_b et K_w respectivement la constante de dissociation de l'acide, la constante de dissociation de la base conjuguée et le produit ionique de l'eau.

Chaque fois qu'une réaction met en jeu un échange de protons, elle peut être considérée comme une réaction acide-base. En effet, lorsque deux couples acide-base sont mis en présence, le couple dont le pK_a ($-\log K_a$) est plus bas fournit l'acide et l'autre fournit la base. Alors le sens de la réaction acido-basique (1) devient facile à déterminer à partir des valeurs de pK_a .

Le critère pour apprécier la force entre deux acides ou deux bases de Lewis fut le déplacement. En effet, l'acide fort déplace l'acide faible de sa combinaison et la base forte déplace la base faible de sa combinaison. Mais également les facteurs comme la polarisabilité et la dimension des atomes qui forment l'acide ou la capacité d'un élément à retenir ses électrons furent utilisés pour classer les acides et les bases de Lewis selon leur force.

D'autres facteurs comme l'électronégativité, l'étage d'oxydation des éléments, le nombre d'oxygène non rattachés au groupe OH... sont parfois utilisés pour déterminer la force d'un acide ou d'une base.

1.2. Importance des modèles et de la modélisation en didactique

L'apprentissage est un processus actif qui exige des élèves la construction de leurs propres stratégies afin d'assimiler le nouveau savoir. Pour y parvenir, ils ont besoin des modèles (Treagust et al. 2002). En effet, le modèle est l'un des aspects importants de développement de la connaissance en didactique des sciences. Le modèle est une théorie développée pour

expliquer quelques aspects du monde tels que les scientifiques l'expérimentent ou le comprennent (Gilbert et al, 2000 a). Il est considéré comme un schéma ou une structure provisoire qui correspond à un objet, un événement réel et qui a un pouvoir exploratoire (Kousathana et al. 2005). En ce sens, il correspond à la représentation de tout ce qui ne peut pas être mesuré ou testé directement.

Le modèle joue deux fonctions primaires dans l'enseignement : le pouvoir prédictif et la capacité à apporter une compréhension de la nature fondamentale du phénomène observé (Treagust et al. 2002). Dans ce cas, il établit un lien entre la théorie et la cible (un système, un objet, un phénomène, un processus) pour comprendre et expliquer des observations et tester des hypothèses (Drechsler & Van Driel, 2009 ; Talanquer, 2011) ou donner du sens à l'abstrait, à des concepts scientifiques difficiles et non observables pour accommoder l'enseignant, les apprenants et le contexte.

L'histoire des sciences nous apprend que des scientifiques ont apporté des réponses à certaines questions ce qui a conduit au développement de différents modèles. Selon Gilbert et al. (2000b pp 12- 13), on distingue plusieurs types de modèles : mental, énoncé, de consensus, scientifique, historique, curriculaire, hybride, didactique pour enseigner les sciences et apprendre la nature de la science. Ils sont souvent présentés sous leur version finalisée/aboutie dans les ouvrages et les programmes scolaires (De Jong et al. 2005) destinés à l'enseignement secondaire.

Drechler et Van Driel (2008) considèrent que la connaissance de ces modèles et leur utilisation ainsi que la reconnaissance de leurs limites pourraient aider les apprenants à acquérir une bonne culture scientifique et comprendre la nature de la science. Ainsi Hodson (1993) identifie, à travers la modélisation et les modèles, trois principaux objectifs visés par la didactique des sciences : apprendre les sciences (résultats, concepts, modèles, théories), apprendre à partir de la science (développer une compréhension de la nature et des méthodes scientifiques) et apprendre à faire de la science (devenir capable d'engager et développer une expertise dans la pratique scientifique).

1.3. Modèle de triple représentation de la matière

Selon Johnstone (2000), nous adoptons trois niveaux de raisonnement pour comprendre la transformation de la matière à savoir :

- le niveau macroscopique (tangible et visible) ;
- le niveau sub-microscopique : atomique et moléculaire (atomes, ions, molécules, structures chimiques, cinétique....) et
- le niveau symbolique (qui utilise des symboles et formules mathématiques, équations, molécularités, tableaux et courbes).

Aucun de ces niveaux n'est supérieur à l'autre mais ils sont complémentaires l'un de l'autre. Les chimistes travaillent à l'intérieur de ce triangle avec une fusion de ces trois modes. Ils peuvent seulement se focaliser sur un seul sommet si leur réflexion le demande.

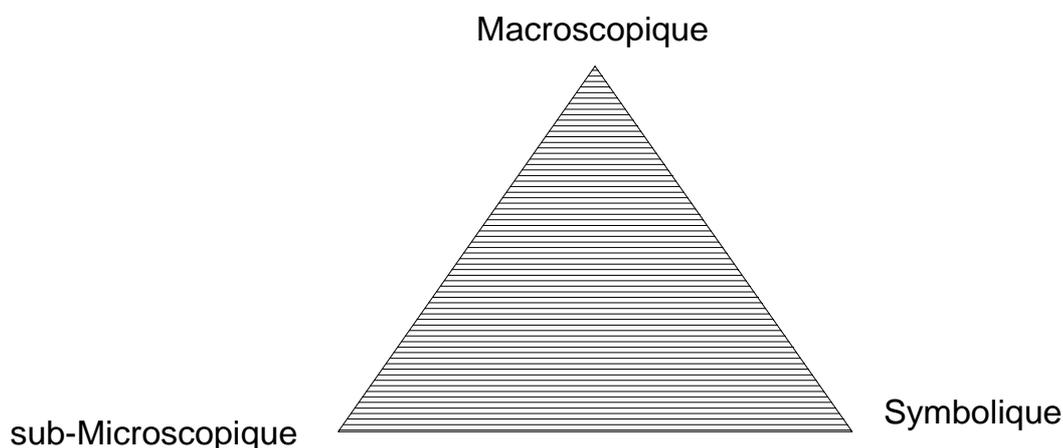


Figure 2. Composantes de la chimie nouvelle : le triangle chimique selon Johnstone (2000)

Pour sa part, Gabel (1999) souligne que les enseignants préfèrent passer directement du niveau macroscopique au niveau symbolique. De ce fait, les étudiants n'ont pas la possibilité de les suivre dans leur enseignement : *" la première barrière à la compréhension de la chimie ce n'est pas l'existence de trois niveaux de représentation de la matière, mais c'est que l'introduction de la chimie, apparaît avec une prédominance du seul niveau abstrait, le niveau symbolique"*. Gabel (1999) et Johnstone (2000) suggèrent qu'il n'est pas nécessaire de relier tout le temps ces trois niveaux dans l'enseignement, mais que les enseignants comprennent cette idée de triple description pour qu'ils puissent la transmettre à leurs étudiants.

Chapitre 2.
Les modèles et la modélisation de la réaction acide-
base dans le curriculum formel

Afin de comprendre comment la réaction acide-base est présentée aux élèves et à leurs enseignants, il faudra au préalable procéder à une analyse de contenu du prescrit du curriculum de chimie selon les différents modèles. Il s'agit de décrire la manière dont ces modèles sont présentés à travers les différents concepts relatifs à la réaction acide-base. Dans ce chapitre nous traitons la description de la réaction acide-base dans le programme de chimie, les manuels scolaires et les évaluations nationales.

2.1. Approche méthodologique

Dans le système éducatif congolais, le professeur est appelé à suivre le programme officiel (DEPS, 1982) et se référer à des manuels pour dispenser son cours. Il devrait également initier et habituer ses élèves à résoudre les questions posées aux examens d'état, des questions à choix multiples. Ces épreuves qui conduisent à la certification finale de l'étudiant ne sont pas organisées par l'école contrairement aux pratiques dans les classes précédentes mais par le pouvoir provincial à travers les inspecteurs et le pouvoir central.

Les ouvrages et le programme dictent le contenu de la matière que les élèves apprennent. C'est pourquoi il nous est paru important au début de cette étude, d'analyser le contenu et l'esprit de ces documents à propos des modèles acide-base. Le but poursuivi est double : déterminer la manière dont ces modèles sont perçus par les auteurs du programme et les auteurs des ouvrages et estimer l'importance accordée à l'apprentissage de ces modèles à travers le contenu des questions posées à ces examens. Ainsi allons-nous comprendre la manière dont la réaction acide-base est présentée aux élèves de la classe de dernière année secondaire et à leurs enseignants. L'ensemble des informations recueillies nous permet d'estimer la cohérence interne du curriculum prescrit.

Ainsi avons-nous rassemblé une dizaine d'ouvrages et les cahiers d'items posés aux examens d'état. Nous avons demandé à chaque professeur de nous fournir la liste des ouvrages prioritaires qu'il utilise pour enseigner la réaction acide-base. Nous avons procédé à une analyse de contenu en précisant les modèles acide-base développés dans chaque manuel, les concepts utilisés, les phénomènes et les différentes réactions d'acidité auxquels les auteurs font référence pour caractériser la réaction acide-base. En vue de dégager l'importance que les examinateurs accordent aux notions d'acidité lors de l'épreuve

nationale (Bashamuka & Mano, 2009), nous avons relevé les différentes matières y afférentes et leurs fréquences respectives.

Ensuite, nous avons participé à certaines leçons portant sur la réaction acide-base pour apprécier davantage l'action pédagogique de l'enseignant en classe. De plus, nous avons discuté ces leçons avec les enseignants. Notre discussion a tourné autour des objectifs poursuivis, l'opportunité d'enseigner ces matières et les méthodes ainsi que les procédés utilisés pour les enseigner. Enfin, nous avons consulté leurs notes de préparation ainsi que les notes prises par les élèves pour nous assurer que les matières déclarées étaient réellement enseignées.

2.2. La réaction acide-base dans le programme officiel

Le programme de chimie en République Démocratique du Congo (DEPS, 1982) a été analysé et les résultats ont été publiés (Mano, 2006 ; Mano et al. 2007). Le programme de chimie présente les caractéristiques suivantes :

- contenu illimité, volumineux, cité en désordre, non actualisé et axé sur les connaissances générales (cours encyclopédique) ;
- pédagogie par objectifs, laboratoires rares;
- contexte ou environnement : riche et non exploité.

Cette étude s'est poursuivie en Belgique en comparant les niveaux d'acquisition des connaissances par les élèves de sciences fortes en fin de secondaire supérieur. D'après les résultats obtenus, il s'est avéré que les élèves congolais, comme leurs homologues belges, présentaient un niveau faible d'acquisition des connaissances. Les programmes et leur application concrète semblent avoir été plus favorables pour les questions demandant une bonne compréhension du concept de réaction chimique en Belgique et pour des exercices demandant des compétences de calcul au Congo.

Bien que les résultats au test paraissent conduire à cette observation, il s'avère que la réussite aux calculs soit attachée à la pratique courante des professeurs de confondre travaux pratiques et exercices en classe. Les élèves congolais ont l'habitude de résoudre des exercices numériques au lieu de faire des travaux pratiques. Ils trouvent rapidement des réponses et les bonnes, car dans le cas d'espèce, ils utilisent des calculettes ; ainsi ils paraîtraient plus forts pour les exercices que pour la théorie.

Par ailleurs, les résultats de l'étude que nous avons réalisée une année plus tôt (annexe 2) auprès de 240 étudiants âgés de 15 à 16 ans sur la réaction chimique, ont confirmé que les élèves congolais présentaient des faibles compétences sur des questions relatives à la compréhension de la réaction chimique. Au cours de cette étude, nous avons constaté que de nombreux élèves établissaient une différence nette entre les phénomènes chimiques et les phénomènes physiques. Les élèves savaient citer plusieurs phénomènes naturels mais très peu pouvaient distinguer le chimique du physique et désigner une réaction chimique à la base du phénomène observé. Les étudiants n'établissaient pas non plus de connexion entre les réactions chimiques apprises en classe et les réactions chimiques à la base des phénomènes naturels. Pour les étudiants la réaction chimique est un concept polysémique : ils classent la réaction chimique en trois catégories dont la réaction chimique, la réaction biologique et la réaction physique. Les étudiants en avaient ainsi une faible compréhension.

Dans la lecture des documents utilisés par le professeur ou ses élèves, notre réflexion actuelle se focalise sur l'enseignement et l'apprentissage de la réaction acide-base. Elle va se limiter à donner un aperçu de cette réaction selon deux dimensions, une dimension épistémologique qui concerne les modèles et leurs liens avec le registre empirique et une dimension didactique qui porte sur la traduction des intentions des auteurs en termes de contenus (Kermen & Méheut, 2008a) par rapport aux objectifs assignés à ce cours au secondaire.

Le principal objectif de cette analyse est de vérifier la cohérence du programme (Soetewey, Duroisin & Demeuse, 2011) : si ce qui est prescrit dans le programme permet effectivement d'atteindre les objectifs généraux, les compétences à développer et les savoirs à maîtriser par les élèves sur la réaction acide-base. Cette cohérence a un impact sur son efficacité et son efficience.

1° Objectifs du cours de chimie au secondaire

Les auteurs du programme attribuent au cours de chimie les objectifs suivants :

- apporter aux élèves, plus que des connaissances nouvelles, un élément de culture générale;
- aider à comprendre de nombreux processus biologiques.

2° Analyse du curriculum formel

L'analyse du curriculum concerne la dimension épistémologique relative aux modèles suivis pour expliquer la réaction acide-base et la dimension didactique relative aux intentions pédagogiques pour faire apprendre cette réaction.

- Dimension épistémologique du curriculum

L'analyse épistémologique montre que les termes utilisés à propos du concept de réaction acide-base sont variables : dosage acide-base, réaction de neutralisation, équilibre acide-base, couple acide-base, pH, effet tampon, réaction de dissociation, réaction d'ionisation, réaction d'hydrolyse. La réaction acide-base est présentée aussi comme un modèle de la transformation chimique des acides et des bases dont la modélisation est axée sur la présentation des principales théories acide-base. Dans le programme de chimie, la réaction acide-base est abordée en suivant quatre aspects correspondant à quatre modèles différents à savoir : l'ancien modèle (Boyle), le modèle d'Arrhenius, le modèle de Bronsted et le modèle de Lewis.

Tableau 3. Répartition des modèles acide-base dans le programme de chimie/niveau d'études

Niveau d'études	Registre théorique (Cours)	Registre empirique (Travaux pratiques)
3 ^{ème} année	- Ancien modèle (Boyle) - Arrhenius	- Ancien modèle
4 ^{ème} année	- Arrhenius	- Arrhenius
5 ^{ème} année	- Bronsted - Lewis	- Arrhenius
6 ^{ème} année	- Arrhenius - Bronsted - Lewis	- Arrhenius - Bronsted

Nous tirons de ce tableau les observations suivantes :

- dans l'ensemble, il est prévu plusieurs modèles acide-base pour chaque niveau ;
- le registre théorique aborde plusieurs modèles par rapport au registre expérimental ;
- le modèle d'Arrhenius est prévu au programme chaque année d'études tandis que les

modèles de Bronsted et de Lewis sont repris les deux dernières années dans le registre théorique ;

- sur le plan pratique, le programme recule en termes de modèles : au lieu de prendre en considération les modèles envisagés au cours de l'enseignement théorique, le programme prévoit d'utiliser des modèles antérieurs. Ainsi, dès qu'on aborde un modèle plus développé, on ne prévoit pas d'applications pratiques y relatives.

En dernière année du secondaire, le cours de chimie comprend quatre parties : la chimie analytique quantitative, l'étude de l'atome (atomistique et chimie nucléaire), les applications et la synthèse reprenant les grandes découvertes réalisées pendant les trois dernières décades. La réaction acide-base est clairement abordée dans la partie chimie analytique. Dans le cours de chimie analytique quantitative, il est prévu : le rappel de définitions des concepts acide-base selon les trois grands modèles (définitions et exemples), la courbe de neutralisation d'un acide fort par une base forte et inversement (calcul théorique et représentation graphique); la zone de virage des indicateurs usuels et l'application au dosage acide-base en présence d'un indicateur coloré. Dans cette dernière partie, il est prévu que les élèves effectuent des travaux pratiques sur les préparations des solutions acide-base et les dosages volumétriques par neutralisation. Dans la préparation des solutions à des concentrations différentes, on suit les modèles d'Arrhenius et de Bronsted ; pour le dosage acide-base, c'est le modèle d'Arrhenius qui est également appliqué.

Au cours de la réaction de neutralisation, le programme indique qu'il faudra faire attention à *l'évolution du pH, au changement de couleur pour trouver le point d'équivalence, aux espèces chimiques majoritaires en solution, à la formation du sel au point d'équivalence....*

- Dimension didactique du curriculum

Dans le curriculum prescrit, les intentions didactiques des auteurs se traduisent sous forme d'une série des directives méthodologiques à suivre. Après avoir revu les directives générales qui se rapportent au registre empirique, nous n'insisterons que sur celles qui se rapportent directement à la réaction acide-base. Il est indiqué qu'on devra recourir aux travaux pratiques pour concrétiser les notions apprises en classe afin de réduire l'abstraction en faveur de la concrétisation. Cette concrétisation se traduit à travers les expériences simples et concrètes. Le professeur devrait guider et encourager les élèves de manière intelligente

afin de les entraîner à l'exercice d'observation et de raisonnement pour créer en eux le désir d'en savoir davantage et le goût de la recherche personnelle. Les propriétés physiques et chimiques -dont les propriétés acido-basiques- des composés organiques seront déduites, le plus souvent possible, d'expériences effectuées en classe sur des échantillons préparés devant les élèves.

Le professeur devrait entraîner les élèves à l'observation et au raisonnement. Comme les concepts nouveaux ne seront pas compris ni assimilés d'emblée, il faudra les rappeler régulièrement. Étudier des cas simples et laisser les cas complexes à l'enseignement supérieur. Le professeur pourra ensuite stimuler l'intérêt de ses élèves, concrètement et simplement, en adoptant la démarche scientifique. D'après le programme, c'est seulement en dernière année que les élèves peuvent manipuler en autonomie au laboratoire. Avant cette période, c'est le professeur qui doit réaliser des expériences devant les élèves en leur posant chaque fois des questions. Le cours de chimie analytique s'appuiera sur les réactions ioniques en solution aqueuse, la dissociation ionique de l'eau, et l'hydrolyse. Différents exercices pratiques pourront être envisagés suivant le matériel disponible : préparation de solutions titrées d'acides, bases, sels... Les élèves effectueront des dosages volumétriques par neutralisation des bases et d'acides. Au cours des séances de travaux pratiques, les élèves devront apprendre à manier l'appareillage le plus courant d'un laboratoire de chimie avec le soin et la précision requis.

Sur le plan pratique, les travaux pratiques s'effectuent en deux séances :

- le premier travail TP1 porte sur la préparation des solutions, des indicateurs colorés et la détermination du pH. On devra préparer les solutions de concentrations différentes.
- le second travail TP2 porte sur le dosage acido-basique, spécialement le dosage d'un acide fort par une base forte et inversement. Les élèves devront réaliser le dosage, tracer la courbe de neutralisation et la décrire en y mentionnant les espèces majoritaires. Les produits à utiliser et les matériels ainsi que le protocole expérimental sont repris en annexe 3.

Au cours des travaux pratiques, on attend des étudiants, les actions importantes suivantes :

- manipuler des produits et du matériel pour préparer des solutions acide ou basique à des concentrations précises ; observer des changements de couleur pour apprécier l'acidité de la solution et mesurer le pH de la solution au moyen d'un pH-mètre.
- réaliser le dosage acido-basique (en utilisant une burette, des solutions acide, basique), détecter le point d'équivalence et tracer la courbe de neutralisation.

2.3. La réaction acide-base dans les manuels scolaires

Pour comprendre la manière dont les manuels s'approprient les modèles pour expliquer la réaction acide-base, nous avons rassemblé dix manuels et ouvrages scolaires utilisés en dernière année du secondaire, option sciences fortes, pour l'enseignement de la chimie. Notre présentation se limitera à la désignation du modèle acide-base et à son utilisation dans le manuel pour expliquer la réaction acide-base. Les manuels utilisés sont repris en annexe 4 de ce travail.

2.3.1. Nature et fonctions des manuels utilisés

Compte tenu de la nature (type) et des fonctions que doit remplir un manuel telles que définies par Gérard & Roegiers (2003) et repris par Demeuse & Strauven (2006, pp 105 - 111), les manuels analysés présentent les caractéristiques suivantes :

- de la nature: du type traditionnel, ils contiennent essentiellement des informations et des exercices, dont la fonction principale est la transmission des connaissances. Ils remplissent entre autres des fonctions secondaires : le développement des capacités, la consolidation de l'acquis et l'éducation culturelle. Cependant, le second manuel de Lufimpadio consacré aux exercices sert spécialement à consolider et à évaluer l'acquis.
- de la fonction du manuel : selon qu'un manuel s'adresse aux élèves ou aux enseignants, il joue plusieurs fonctions principales et secondaires. Tous les manuels que nous avons consultés s'adressant aux deux groupes remplissent les fonctions suivantes :
 - les fonctions relatives à l'apprenant : la transmission des connaissances : de données particulières, de concepts, de règles, de formules, de terminologies, de conventions, de faits... ; la consolidation et l'évaluation de l'acquis à travers différents exercices d'application (particulièrement le manuel

d'exercices de Lufimpadio) ainsi que l'éducation sociale et culturelle par les différentes règles de sécurité et de conseils de prudence à respecter au cours des manipulations au laboratoire (cas particulier du manuel de Bikuba).

- les fonctions relatives à l'enseignant : la fonction d'information scientifique générale : tous ces manuels contiennent des références théoriques. De plus, l'ouvrage de Pirson et al. (2004) joue le rôle de formation pédagogique liée à la chimie à travers ses innovations pédagogiques.

En ce qui concerne le mode d'entrée dans le curriculum de ces manuels : on observe une entrée par les contenus-matières et un peu moins une entrée par les objectifs pédagogiques. Signalons ici que la formation pédagogique est absente des contenus de la majorité des manuels consultés.

2.3.2. Présentation des modèles acide-base proposés

Les ouvrages/manuels les plus utilisés par les enseignants des classes terminales (mais non accessibles à la majorité des élèves), ainsi que les modèles correspondants qui y sont exploités, sont présentés dans le tableau 4. Ces manuels sont rangés dans l'ordre chronologique d'édition. Les modèles sont, pour les uns, explicitement définis dans le cadre de la définition des concepts, mais sont tus dans le cadre de développement des autres notions. On pourra trouver plus de détails aux différentes pages indiquées ainsi qu'à la partie annexe de ce travail (voir annexe 4).

Tableau 4. Différents modèles proposés dans les manuels selon les auteurs (enquête de terrain)

Auteurs	Modèle acide-base développé
1. DELARUELLE & CLAES (1966)	Ancien & Arrhenius
2. JODOGNE & DESSART (1969)	Ancien & Arrhenius
3. LUFIMPADIO (1983) a	Arrhenius
4. LUFIMPADIO (1983) b	Arrhenius
5. O' CLEDJO (1985)	Arrhenius
6. KANDOLO (1987)	Arrhenius & Bronsted
7. SEONY et al. (1990)	Arrhenius & Bronsted
8. PIRSON (1990)	Arrhenius & Bronsted
9. BIKUBA (2003)	Arrhenius
10. PIRSON (2004)	Bronsted

D'après les témoignages recueillis sur terrain et notre expérience professionnelle dans le secteur éducatif, les ouvrages indiqués en **gras** sont les plus utilisés par les enseignants car ils en apprécient le contenu.

En lisant ce tableau, on observe que les manuels rédigés par Kandolo et par Seony et ses collègues, édités au Congo en plus de l'ouvrage de Pirson (1990), édité en Belgique reprennent la conception de Bronsted et celle d'Arrhenius. Contrairement à sa version de 1990, Pirson (2004) aborde la notion d'acidité essentiellement selon le modèle de Bronsted et exploite le modèle d'Arrhenius comme une pré-conception (pour la mise en situation). Une régression tout de même qui se remarque pour Bikuba qui n'a pas suivi l'élan des autres auteurs ni le progrès des connaissances scientifiques dans la rédaction car il n'a retenu que le modèle d'Arrhenius. Après avoir défini ces modèles, l'auteur applique principalement Arrhenius dans la suite du développement des autres notions. D'autre part, aucun manuel ne présente le modèle de Lewis pourtant recommandé par le programme officiel.

Signalons pour terminer que le nombre d'ouvrages utilisés pour la seule classe surprend surtout lorsqu'on observe qu'ils développent la même matière. Les uns représentent des copies conformes des autres à certaines pages.

2.4. Réaction acide-base dans les évaluations formelles

L'évaluation finale se déroule lors de la passation des examens d'état par les élèves de dernière année secondaire. Ces examens qui se déroulent chaque fois à la fin de l'année scolaire sont organisés par les gouvernements central et provincial à travers les ministères de l'éducation. Les items que nous avons recueillis sur la notion de la réaction acide-base sont classés par année. Nous avons inventorié 60 questions étalées sur treize années portant sur la réaction acide-base. Le tableau 5 nous présente la fréquence des questions posées par année sur les différentes matières de la réaction acide-base.

Tableau 5. Fréquence des questions posées par année (de 1997 à 2009) et par matière prévue sur la réaction acide – base (Bashamuka & Mano, 2009 en annexe 5; Inspectorat général, 2010).

Matière	Année de passation des examens d'état												
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Solutions	2	2	3	2	2	4	2	6	4	0	1	2	6
pH	0	2	0	2	2	1	2	0	0	0	2	0	0
Dosage	0	0	2	0	0	0	2	0	0	5	0	2	2
Total	2	4	5	4	4	5	6	6	4	5	3	4	8

Ainsi, il se dégage que sur une moyenne de treize questions portant sur la chimie posées, à l'examen national, cinq se rapportent à la réaction acide-base dont : 3 questions sur la notion de concentration et de solution ; 1 question sur la notion de pH des solutions et 1 question de dosage acido-basique.

Retenons que cette proportion est importante lorsqu'on considère la faible part que ces notions (de l'ordre de 10%) occupent par rapport aux autres dans le programme. Cette évaluation souligne bien l'importance de la connaissance de la réaction acide-base par les élèves au cours de leur scolarité. Dans le même ordre d'idées, nous remarquons que les

examineurs privilégient les questions en rapport avec les notions de concentration et de solution. Cette importance s'accroît de plus en plus ces dernières années. Ainsi, l'examen des questions nous renseigne que :

- la plupart des questions fréquemment posées concernent le calcul des grandeurs suivantes : le pH (des solutions, la zone de virage d'un indicateur, le saut du pH) et la concentration (la concentration molaire, la normalité et la molarité, le pourcentage en masse, le volume des solutions acide et base, la quantité de sel formé après réaction de neutralisation, la masse, le nombre d'équivalents chimiques). Parfois cela devra reposer sur l'exploitation et l'interprétation de l'équation de neutralisation. Concernant ces grandeurs, il s'agit d'en calculer les valeurs initiales de la solution et les valeurs après dilution, mélange de deux solutions de même nature ou après mélange des solutions de natures différentes après neutralisation partielle ou totale. Il appartient à l'élève de découvrir le type de mélange réalisé, éventuellement d'établir l'équation chimique de la réaction et de l'interpréter pour trouver la réponse.
- les acides uniquement rencontrés dans les questions sont par ordre de priorité décroissante : HCl, HNO₃, H₂SO₄, H₃PO₄, HNO₂, H₂CO₃, HBrO₄ et acide acétylsalicylique. Les cinq derniers acides ne sont cités chacun que dans un seul item sur les soixante. Pour les bases, il s'agit uniquement des composés suivants : NaOH et KOH. Dans le cas où on ne cite pas nommément l'acide ou la base, on parle d'acide pur, de monoacide, d'acide A ou de base B.
- l'apparition des nouveaux concepts ou des nouvelles matières (non apprises en classe et non prévues sur le programme) sur les questions d'examen d'état : le volume en nul à la place du volume au point d'équivalence (pour une neutralisation) et la fonction de solution, la neutralisation d'un acide faible par une base forte (cas de HNO₂ par KOH, en 2006), la neutralisation d'un acide faible par une base forte (2006) et la neutralisation d'un acide par deux bases fortes ou d'une base par deux acides forts (matière non prévue sur le programme).
- les questions rares concernent la détermination de la force d'un acide (oxacides, en 2002) à partir du nombre d'atomes d'oxygène n'intervenant pas dans la formation du groupement OH, la prédominance de la coloration de la forme ionique d'un

indicateur (2007), et la zone de virage (2006).

- les questions absentes concernent les définitions des acides et des bases, le couple acide-base conjugués, les applications concrètes de ce couple comme les mélanges tampons et les autres types de réaction acide-base comme l'hydrolyse.

D'autre part, dans ce tableau, nous remarquons une variabilité des questions d'une année à l'autre : on a privilégié selon les années certaines questions au détriment des autres. Ainsi, il y a des matières qui sont examinées, comme les notions de concentrations et de solutions, presque chaque année et d'autres, comme le calcul du pH de la solution pendant six années et le dosage acide-base, quatre années durant. Par ailleurs, on observe une faible représentation du dosage acide-base et une grande représentation des notions de solutions et de concentrations. De plus, toutes ces questions ne sont abordées que selon la vision d'Arrhenius ; d'où une absence remarquable du modèle de Bronsted.

2.5. Réaction acide-base dans les notes des élèves et des enseignants

Dans le but de nous rendre compte des parties étudiées et de dégager le modèle acide-base privilégié dans l'enseignement, nous avons consulté les fiches de préparation des enseignants et les notes des élèves. Nous avons consulté 8 cahiers/fiches de préparations des enseignants et 22 cahiers des notes prises par les élèves en rapport avec la réaction acide-base. Trois enseignants contactés ont révélé qu'ils n'ont pas de temps de préparer des leçons et qu'ils utilisent les manuels comme cahiers de préparation. Il ressort de ces documents consultés que la matière enseignée dans l'ensemble concerne les parties suivantes :

- les généralités : différentes définitions des concepts relatifs à la réaction acide-base, les principes où l'on montre schématiquement comment se déroule le dosage acide-base et la relation fondamentale de la volumétrie ;
- les indicateurs colorés : définition, zone de virage et utilisation ;
- les différentes sortes de dosage acido-basique : l'accent est mis sur le dosage d'un acide fort par une base forte et inversement ;
- la courbe de neutralisation : deux courbes tracées dont la neutralisation d'un acide fort par une base forte et inversement ; on trace la courbe de pH en fonction du

volume de réactif titrant ajouté;

- les exercices d'application dont le nombre et la qualité dépendent d'un enseignant à un autre.

Certains enseignants s'efforcent de fournir aux élèves l'essentiel pour cette notion. Il semble que le manque de support pédagogique et l'absence d'un manuel programme sont à la base de difficultés pédagogiques auxquelles les enseignants font face. L'analyse des notes des élèves et les préparations des professeurs montrent également que les trois modèles sont appris (définis) en classe, mais dans les applications pratiques et numériques, seul le modèle d'Arrhenius est utilisé.

Conclusion partielle

Le prescrit du curriculum de chimie en fin du secondaire présente la réaction acide-base sous les trois modèles classiques. Aussi, il prévoit d'enseigner cette réaction sous ces trois modèles sans indiquer clairement comment passer d'un modèle à un autre. Il prévoit sans l'indiquer dans le registre empirique comme dans le registre théorique, le modèle de Bronsted. Par contre, dans les ouvrages et les manuels, les notes des enseignants, des élèves et à l'évaluation nationale, seul le modèle d'Arrhenius est réellement envisagé.

Bien que ce modèle ne soit pas explicitement indiqué par le programme, les enseignants, les ouvrages... le développement des applications prévues ainsi que leur résolution laissent entrevoir cette vision dominante du modèle d'Arrhenius. La vision d'Arrhenius étant supplantée par celle de Bronsted, c'est un indice qu'il y a une déconnexion entre ce que prévoit le prescrit du programme et ce qui se passe sur le terrain ou le contenu des ouvrages. Ce manque de précision et cette déconnexion devraient engendrer des difficultés aussi bien d'apprentissage (Soetewey, Duroisin & Demeuse, 2011) que d'enseignement des différents modèles acide-base surtout pour le modèle développé. C'est également une indication de l'inadéquation du programme de chimie.

Chapitre 3.
Les modèles et la modélisation de la réaction acide-
base dans le curriculum implanté

3.1. Généralités sur le “Pedagogical Content Knowledge” du professeur

3.1.1. Notion de “Pedagogical Content Knowledge”

Le professeur joue un rôle primordial dans l’appropriation des connaissances et l’acquisition des compétences par les apprenants au cours de l’apprentissage. Son rôle s’avère encore primordial dans la transmission des connaissances et important surtout lorsque les systèmes d’enseignement n’offrent pas aux apprenants l’accès aux matériels didactiques, manuels et ouvrages scolaires. En revanche, pour bien jouer ce rôle, il doit non seulement formuler les objectifs d’enseignement mais aussi s’approprier ses propres enseignements.

Pour y arriver, il devrait disposer et développer à son tour une connaissance professionnelle efficace et dynamique. L’américain Lee Shulman, en 1986, a nommé cette connaissance professionnelle particulière du professeur, le « Pedagogical Content Knowledge », PCK en sigle, littéralement la connaissance pédagogique du contenu mais en réalité une interaction entre la connaissance de la pédagogie et celle de la matière à enseigner (Figure 3).

En 1987, Shulman définit le PCK comme une manière dont les enseignants enseignent la matière en faisant recourt à ce qu’ils savent du sujet, de leurs élèves, du programme scolaire, des ouvrages ainsi que du contexte utile pour leur enseignement. En effet, comme prédit par Shulman, le PCK a déjà été interprété de diverses manières. Mais l’idée centrale reste celle qui englobe une compréhension par l’enseignant de la façon d’aider les élèves à comprendre et à s’approprier un sujet spécifique (Loughran et al. 2004, Magnusson et al, 1999 ; Padilla et al, 2008 ; Rollnicka et al. 2008).

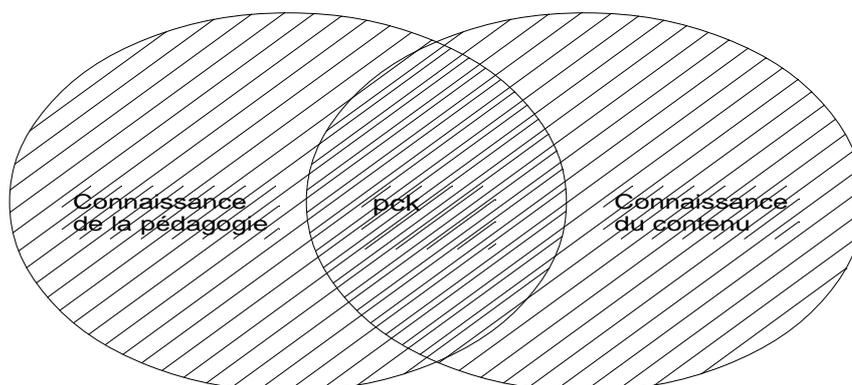


Figure 3. Pedagogical Content Knowledge (PCK)

S’intéresser au savoir de l’enseignant pour améliorer l’action didactique est une démarche qui fut proposée d’abord par Shulman (1986, 1987, 1999), dans le PCK. Le PCK fut par la

suite emprunté par d'autres chercheurs comme Loughran et al. (2004) sur des notions d'ordre général et récemment par Garittz et al. (2008), Padilla et al. (2008) et Rollnicka et al. (2008) sur des concepts de quantité de matière, de mole et d'équilibre chimique ainsi que par Kermen & Méheut (2008a) sur la prévision et l'explication de l'évolution des systèmes chimiques et par Drechsler & Van Driel (2008) sur des notions de la chimie des acides et des bases.

3.1.2. Connaissance par les enseignants des modèles acide-base

La connaissance des enseignants expérimentés sur l'enseignement et l'apprentissage des modèles a fait l'objet de plusieurs études parmi lesquelles on peut citer celles de Van Driel et Verloop (1999 & 2002). L'étude menée par Van Driel et Verloop (1999) a révélé que les enseignants expérimentés peuvent avoir différentes conceptions sur les modèles et la modélisation en science. Aussi ces connaissances peuvent être limitées et renfermer des inconsistances (Justi and Gilbert, 2002). Par contre, l'étude réalisée en 2002 par Van Driel et Verloop établit deux groupes d'enseignants par rapport aux activités utilisées pour enseigner les modèles et la modélisation.

L'un focalise son attention sur le contenu des modèles spécifiques utilisés dans les activités d'enseignement en accordant un rôle actif à l'enseignant. Leur choix de stratégies d'enseignement est lié à leur expérience avec les étudiants, particulièrement leur constatation que les étudiants ont souvent des problèmes lorsqu'ils sont confrontés à des incertitudes et des abstractions, ce qui limite leurs capacités à travailler avec des modèles. L'autre groupe focalise son attention sur la nature, la présentation et le développement du modèle. Ces enseignants utilisent des activités d'enseignement centrées sur les étudiants ; ils ont confiance en leurs étudiants par rapport à l'utilisation des modèles et la modélisation. Ainsi les chercheurs Van Driel et Verloop (2002) recommandent d'élargir ces études sur des modèles spécifiques et d'investiguer les conceptions des étudiants afin de les intégrer dans l'utilisation des activités d'enseignement.

S'inscrivant dans cette optique, trois travaux menés sur le PCK des enseignants à propos des modèles acide – base ont retenu notre attention. Il s'agit du travail réalisé par Drechsler & Schmidt (2005) et ceux de Drechsler & Van Driel (2008 & 2009).

L'étude réalisée par Drechsler & Schmidt (2005) portait sur la détermination de la manière dont les enseignants et les manuels de chimie s'approprient les différents modèles pour expliquer les réactions acide-base. Ils ont abouti aux constats qu'au collège, la chimie des acides est présentée sous la version d'Arrhenius dans les ouvrages scolaires alors qu'au lycée, on introduit le modèle de Bronsted sans justifier l'utilisation de celui-ci.

Les enseignants présentent ces modèles aux élèves de la même manière que les ouvrages. Ils ne réalisent pas que les ouvrages ne distinguent pas clairement le modèle de Bronsted des autres modèles, ni n'indiquent la raison de l'utilisation de celui-ci. Aussi la plupart des enseignants bien que conscients de l'importance des modèles, présentent des difficultés à les utiliser pour expliquer les propriétés des acides et bases. Ils ne reconnaissent pas non plus les anciens modèles puisqu'ils ne discutent au supérieur que le modèle de Bronsted et d'autres modèles plus avancés.

L'étude réalisée en Suède par Drechsler & Van Driel (2008) visait à établir la connaissance des enseignants des difficultés des élèves sur les notions d'acidité et leurs stratégies d'enseignement pour enseigner des modèles acide-base. Les résultats obtenus conduisent aux conclusions suivantes : tous les enseignants reconnaissent que les élèves confondent les modèles acide – base ainsi que le niveau macroscopique avec le niveau microscopique. De plus, cette étude a classé les enseignants en deux groupes : le groupe qui se focalise sur les étudiants et l'enseignement des modèles en accordant plus d'importance à leurs difficultés pendant la préparation des leçons. Ces enseignants se proposent de rendre les explications claires pendant les enseignements en insistant sur les modèles des acides et des bases. L'autre groupe est focalisé sur l'enseignant lui-même et les deux niveaux, microscopique et macroscopique. Les enseignants appartenant à ce groupe insistent davantage sur leur propre enseignement pendant la préparation des leçons et se proposent de le rendre stimulant et intéressant pour eux-mêmes en adoptant une démarche pédagogique basée sur des démonstrations, des expériences faciles, du matériel expérimental ou des calculs plus simples. Ils n'enseignent pas explicitement ces modèles mais discutent des acides et des bases aux deux niveaux précités.

Le travail de Drechsler & Van Driel (2009) cherchait à déterminer les perceptions des enseignants sur l'enseignement et l'apprentissage des acides et des bases. Il est arrivé aux résultats suivants :

- les enseignants sont en général confiants au modèle de Bronsted et croient que la présentation du concept acide – base est claire pour étudiants et bien présentée dans les ouvrages. Ils n'utilisent pas d'autres modèles et n'ont pas différencié les modèles Bronsted et Arrhenius ni discuté de quelle manière ils se succèdent historiquement.
- à partir de leurs perceptions, on distingue trois groupes d'enseignants:
 - les enseignants qui présentent une bonne connaissance des différents modèles et qui les utilisent dans leur enseignement ; ils sont moins confiants au modèle de Bronsted et ne suivent pas les ouvrages ;
 - les enseignants qui présentent des connaissances avancées optent pour ne pas introduire les différents modèles dans leur enseignement pour simplifier et faciliter la compréhension des concepts acides et bases pour leurs étudiants ;
 - les enseignants qui privilégient l'utilisation des manuels et présentent une faible connaissance de ces modèles.

3.2. Approche méthodologique

3.2.1. Caractéristiques générales des enseignants

Les caractéristiques reprises dans le tableau 6 décrivent les enseignants qui ont participé à notre enquête. Les codes de P1 à P27 représentent les enseignants qui ont participé à notre enquête au Congo. Les 27 enseignants qui ont accepté de répondre à nos questions sont tous des hommes. Ils ont un âge qui varie entre 25 et 52 ans. Ils assurent les cours de chimie dans 25 écoles comprenant au total neuf options. Partant de l'importance accordée au cours de chimie, ces écoles peuvent être subdivisées en deux groupes : écoles (12) à section sciences fortes (entendre par là des écoles scientifiques où la chimie est une branche d'option) et écoles (13) à section sciences faibles (écoles où la chimie n'est pas une branche d'option). Ainsi selon les options, nous avons la situation suivante : la Biochimie et la Nutrition en sciences fortes ; la Math-physique, la Pédagogie générale, la Commerciale, la Littéraire, la Sociale l'Electricité, et la Mécanique en sciences faibles.

Tableau 6. Descriptif des caractéristiques des enseignants ayant participé à l'enquête

Code	Section	Diplôme	Niveau	Ancienneté/an	Formation	Age/an
P1	Nutrition, Sociale	2005	G3	6	Biologie	27
P2	Biochimie	1991	G3	23	Chimie	52
P3	Biochimie, Pédagogie	2006	LA	17	Chimie	39
P4	Biochimie, Pédagogie, Commerc	2002	LA	19	Chimie	42
P5	Biochimie, Math., Commerciale	1995	LA	16	Chimie	42
P6	Biochimie	2007	G3	4	Chimie	25
P7	Biochimie, Pédagogie,	1993	G3	16	Chimie	40
P8	Pédagogie, Nutrition	2007	G3	4	Chimie	23
P9	Biochimie	2006	G3	4	Chimie	26
P10	Biochimie, Pédagogie	2005	LA	23	Chimie	44
P11	Biochimie, Math-phys.	2003	LA	20	Chimie	45
P12	Biochimie, Commerciale	2000	G3	8	Biologie	34
P13	Nutrition, Pédagogie	2008	G3	2	Biologie	25
P14	Pédagogie	2006	G3	3	Chimie	29
P15	Math-phys., Pédagogie	2007	LA	4	Biologie	28
P16	Pédagogie	2007	LA	4	Biologie	31
P17	Electricité, mécanique	2008	G3	1	Biologie	25
P18	Math-phys., Pédagogie	2004	G3	5	Biologie	30
P19	Pédagogie	2007	G3	3	Chimie	26
P20	Math-physique	2007	G3	1	Chimie	27
P21	Pédagogie	2007	LA	3	Chimie	25
P22	Pédagogie, Littéraire	2006	G3	2	Biologie	28
P23	Pédagogie, Commerciale	2005	G3	2	Biologie	28
P24	Electricité, Commerciale	2001	LA	12	Biologie	46
P25	Commerciale., Pédagogie	2006	G3	6	Chimie	28
P26	Math. Pédagogie, Littéraire	2006	G3	3	Chimie	25
P27	Biochimie, Pédagogie,	2006	LA	2	Chimie	28

D'autre part, 17 enseignants sont gradués (G3, dont sept en biologie-chimie et 10 en chimie-physique) et 10 enseignants sont licenciés (LA, dont sept en chimie et 3 en biologie). 26 enseignants ont suivi leurs études à l'Institut Supérieur Pédagogique de Bukavu et un enseignant a fréquenté l'université de Lubumbashi. 24 professeurs ont obtenu leurs diplômes après l'an 2000 et trois vers les années 90.

On peut également lire dans le tableau 6 que 19 enseignants présentent une ancienneté inférieure ou égale à 10 ans et 8 enseignants présentent une ancienneté supérieure à 10 ans ce qui pourrait correspondre à une moyenne de 6 ans d'ancienneté par enseignant. Ainsi la plupart des enseignants interrogés paraissent jeunes en formation et en expérience professionnelle.

Nous avons choisi, parmi ce groupe, certains professeurs remplissant des critères rigoureux : assurer le cours de chimie en sciences fortes à tous les niveaux du secondaire, avoir le grade requis pour assurer ces cours (avoir suivi la chimie au supérieur...) et avoir une longue expérience professionnelle (plus ou moins cinq ans). Ainsi nous avons sélectionné treize enseignants (P1 à P13) qui remplissent ces critères à qui nous devrions passer une interview. Initialement prévue pour treize, l'interview a été menée auprès de 11 professeurs (indiqués dans le tableau 6 : P1 à P11). Ces enseignants, six gradués et cinq licenciés, assurent le cours de chimie et d'autres cours des sciences depuis au moins 4 ans en sciences fortes.

Nous avons également mis les mêmes enseignants en situation de commenter les productions des élèves en vue de déterminer à la fois leur connaissance des difficultés d'apprentissage des élèves et l'autre impact que peut avoir la présentation des réponses d'élèves sur les enseignants. Ainsi tous les 27 enseignants ont participé à la première enquête alors que les 11 premiers ont participé aussi aux deuxième et troisième enquêtes.

3.2.2. Questions adressées aux enseignants

Nous avons d'abord soumis le questionnaire de pré-enquête à 10 enseignants de chimie de la Communauté française de Belgique, et après analyse des réponses fournies, nous avons procédé à des amendements. Ensuite au cours de l'année scolaire 2007 – 2008, nous avons soumis le questionnaire amendé (annexe 6) à 27 professeurs qui assurent le cours de chimie et d'autres cours des sciences depuis dans les classes du secondaire toutes sections confondues dans la région de Bukavu, en République Démocratique du Congo. Nous avons

d'abord soumis ce questionnaire sous forme des questions ouvertes afin de recueillir leurs caractéristiques générales et leur permettre d'exprimer leurs opinions sur la connaissance du contenu et de l'enseignement de l'acidité en général.

Ce questionnaire permet de rassembler des informations factuelles générales au sujet de l'enseignant : âge, genre, ancienneté, niveau d'études, université de formation, formation suivie, année d'obtention du diplôme, l'école dans laquelle ils assurent les cours, les autres cours assurés, le niveau et l'option, le nombre d'élèves et le nombre d'heures assurées pour chaque cours par semaine. Il aborde aussi des questions liées à : (i) les connaissances initiales et les connaissances actuelles de la chimie des acides et des bases, (ii) les difficultés éprouvées pour enseigner la chimie à chaque niveau d'enseignement, (iii) la description de la manière dont se déroule l'enseignement de ces notions et (iv) certaines recommandations pour améliorer la qualité de l'enseignement.

Nous avons ensuite procédé à des interviews auprès de 11 enseignants (de P1 à P11) sur base des questions ciblées pour essayer de comprendre comment enseignement et apprentissage de la réaction acide-base se font dans la classe. Cette démarche nous permet d'un côté, d'appréhender le savoir des enseignants sur ce sujet et de l'autre, de comprendre comment les enseignants parviennent à transformer leur savoir en savoir transmissible.

Dans le cadre de l'interview, afin de décrire et de représenter le PCK, nous nous sommes inspiré des résultats obtenus à la première enquête (questionnaire adressé aux enseignants) et des travaux menés par Gess-Newsome (1999a & 1999b) décrivant les parties du PCK et ceux de Loughran et al. (2004) exploitant une méthodologie basée sur la représentation du contenu et sur l'expérience pédagogique et professionnelle des enseignants telle que reprise dans le travail réalisé par Padillaa et al. (2008). Ainsi, compte tenu de nos objectifs de recherche et des questions posées, cinq questions ont été retenues pour le questionnaire d'enquête (annexe 6) et neuf pour l'interview (annexe 7).

3.2.3. Évaluation de la connaissance des difficultés des élèves

Nous avons rassemblé certaines copies des réponses des élèves finalistes du secondaire ; les réponses proposées par les élèves renferment les principales erreurs. Ces réponses ont été fournies par les élèves aux tests (voir test 2 & test 3, annexes 15 & 16) sur les connaissances de la réaction acide-base. Nous avons alors proposé ces réponses pour appréciation aux

professeurs (de P1 à P11 du tableau 6), afin d'étudier de façon indirecte l'impact sur leur connaissance professionnelle. Les enseignants devaient apprécier les réponses des élèves en proposant à la fois des cotes et des réponses correctes au cas où la réponse proposée était jugée fausse.

L'échantillon des copies présenté aux enseignants est constitué de 6 questions adressées aux élèves et 11 réponses erronées qui relèvent d'une difficulté d'apprentissage. Ces questions portent sur les matières relatives à la neutralisation d'un acide ou d'une base, le mélange tampon, l'acidité d'une solution et le pH d'une solution (annexe 8).

3.2.4. Déroulement de l'enquête et récolte des données

a. Questionnaire d'enquête

Nous avons distribué le questionnaire sous enveloppe à 27 enseignants de chimie de la Région de Bukavu. Nous leur avons demandé d'y répondre librement. Nous nous sommes fixés un rendez-vous de 48 heures plus tard pour la remise des copies dûment complétées.

b. Echantillon des copies des réponses fournies par les élèves

Nous avons présenté un échantillon des copies des élèves aux professeurs. Cet échantillon comprend des réponses que les élèves ont fournies à certaines questions. Chaque copie renferme une erreur /difficulté d'apprentissage de l'élève. Nous avons demandé à chaque enseignant de corriger toutes ces copies en attribuant à chaque réponse correcte 5 points, à la justification 5 et à chaque réponse erronée ou justification fausse 0 point. Aucune valeur intermédiaire ne devait être attribuée. Dans ce dernier cas, l'enseignant devait fournir la réponse correcte lorsque celle fournie par l'élève était jugée erronée. Ces réponses devaient être mentionnées clairement sur la copie de l'élève. Le professeur pouvait ajouter d'autres commentaires s'il le souhaitait. Nous leur avons laissé un numéro de téléphone pour des éventuelles questions. Deux à trois jours ont suffi pour récupérer les copies des enseignants.

c. Interviews

Nous avons fait le premier tour des écoles pour discuter avec le professeur des points importants sur lesquels il insiste pour enseigner la réaction acide-base. Nous avons cherché à vérifier si ces points étaient conformes au programme. Un second rendez-vous était fixé pour répondre à des questions spécifiques. Nous lui avons laissé nos contacts pour toute éventuelle question en rapport avec le changement de l'horaire.

Le contenu de l'interview n'était pas communiqué d'avance à l'enseignant. Les interviews se réalisaient généralement à l'école, dans un bureau ou en classe ou bien encore dans un endroit choisi par le professeur selon sa préférence et sa disponibilité. Une moyenne de 30 minutes de temps suffisait pour boucler l'entretien.

Les réponses fournies par les enseignants au cours de cet entretien sont enregistrées d'abord sur un dictaphone et ensuite retranscrites sur un ordinateur. Elles ont été ensuite dépouillées. Au cours du dépouillement, nous avons transcrit intégralement toutes les réponses fournies par chaque enseignant puis procédé au traitement. Pour mieux apprécier le PCK des enseignants, nous avons assisté à certaines leçons portant sur la réaction acide-base. Notre but était d'apprécier la manière dont se déroule le processus enseignement-apprentissage pour dégager un bon jugement des interviews réalisées auprès des enseignants de ces cours. Nous avons choisi six leçons : les unes assurées par des enseignants pour lesquels certaines réponses de l'interview ne paraissaient pas claires et les autres assurées par les enseignants ayant une longue expérience professionnelle (plus de dix ans).

3.2.5. Analyse et traitement des données recueillies

Les données analysées se rapportent aux enseignants. Elles ont été recueillies après enquête, interview des enseignants et présentation des copies des réponses fournies par les élèves. Pour les analyser, nous avons recouru principalement à l'analyse de contenu.

a. Description et représentation du PCK

Pour analyser les propos des enseignants afin de décrire le PCK, nous nous sommes intéressés au sens des propos recueillis et non à leur forme. Nous avons suivi trois démarches : (i) Nous avons ainsi découpé ces propos en unités de signification. Ces unités de signification ont été classées en catégories thématiques dépendant non seulement des questions posées mais aussi des questions de recherche auxquelles nous voulons répondre (ii). Nous avons ensuite attribué un code à chaque professeur pour rendre les résultats anonymes et établir un lien entre les catégories thématiques obtenues. Cette démarche a été utilisée par Cheung (2009a, b) et Drechsler & Van Driel (2008) (iii) l'approche de description, de représentation ou de modélisation du pck est envisagée en suivant la démarche de Padilla et al. (2007, 2008) et Rollnicka et al. (2008).

b. Appréciation des réponses fournies par les élèves

Pour analyser les réactions des enseignants face aux réponses fournies par les élèves aux différentes questions afin de révéler leur connaissance des difficultés des élèves et caractériser leur maîtrise du contenu, nous avons procédé à une classification des réponses en catégories. Cette classification servira à analyser les réponses dérivant de l'appréciation par les enseignants des réponses proposées par les élèves. Pareille méthodologie a été exploitée par Kermen & Méheut (2008a) dans une étude portant sur PCK des enseignants sur les prévisions et les explications de l'évolution des systèmes chimiques.

3.3. Résultats relatifs à la description du PCK des enseignants congolais

Dans cette partie, nous décrivons les parties du PCK des enseignants afin de déterminer sa nature, à savoir : la connaissance des modèles acide-base, la connaissance du programme officiel, la connaissance des méthodes pédagogiques, la connaissance du contexte d'enseignement ainsi que celle des raisonnements et des difficultés des élèves.

3.3.1. Connaissance des modèles par les enseignants

La question qui se pose est de savoir les connaissances dont disposent les enseignants sur les concepts « acide, base, réaction acide – base ». Pour répondre à cette question, nous avons d'abord distribué un questionnaire d'enquête aux enseignants pour recueillir leur connaissance des modèles acide-base. Sur un effectif de 27 enseignants qui assurent le cours de chimie dans les écoles de la région de Bukavu en République Démocratique du Congo, 26 ont répondu au questionnaire.

Les figures 4, 5 & 6 indiquent les résultats de l'enquête effectuée auprès de ces enseignants pour révéler d'une part, leurs connaissances initiales, c'est-à-dire les connaissances acquises lors de la formation initiale d'enseignant et d'autre part, leurs connaissances actuelles, connaissances qu'ils ont et qu'ils déclarent enseigner actuellement à leurs élèves sur les modèles et la modélisation de la réaction acide-base.

a. ... sur le concept « acide »

Sur la figure 4, les deux conceptions -initiales et actuelles- présentent la même allure : décroissante d'Arrhenius vers les autres conceptions. Par contre, pour les modèles de

Bronsted et de Lewis, la proportion en conceptions actuelles est plus importante que celle des conceptions initiales.

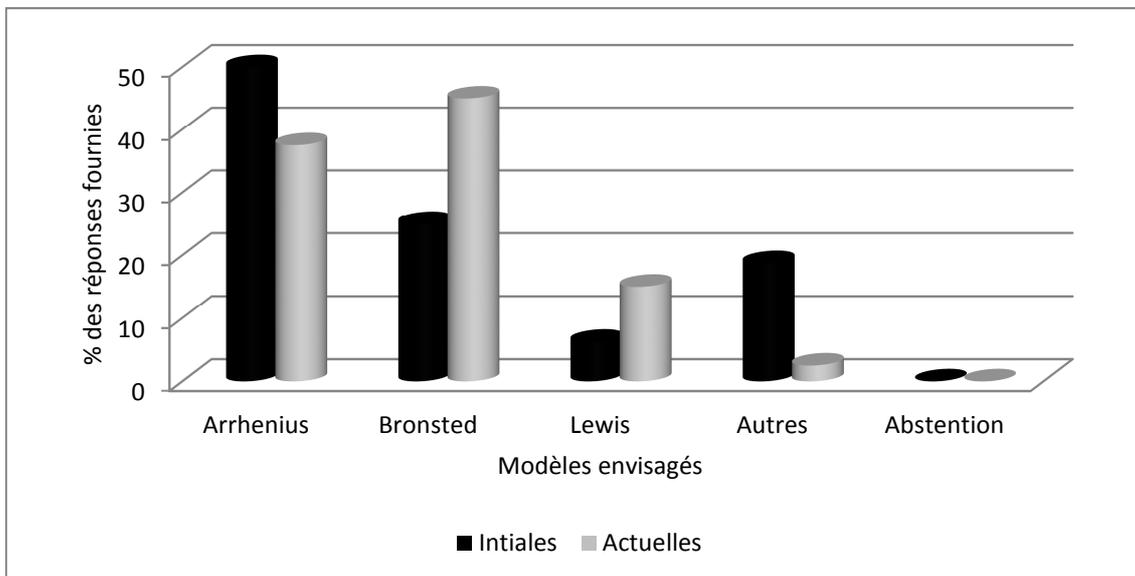


Figure 4. Fréquences des réponses des enseignants sur la connaissance du concept « acide »

Cependant la part en modèle d'Arrhenius et en d'autres modèles erronés est relativement importante initialement, ce qui peut être interprété comme le changement des conceptions dû à la professionnalisation. En effet, les enseignants auraient décidé d'abandonner les modèles erronés au profit des trois modèles classiques. D'autres enseignants auraient abandonné le modèle d'Arrhenius au profit des modèles de Bronsted et de Lewis.

b. ... sur le concept « base »

On peut lire sur la figure 5 que la proportion, d'après Lewis et Bronsted, en conceptions actuelles sur la base est plus importante que celle en conceptions initiales.

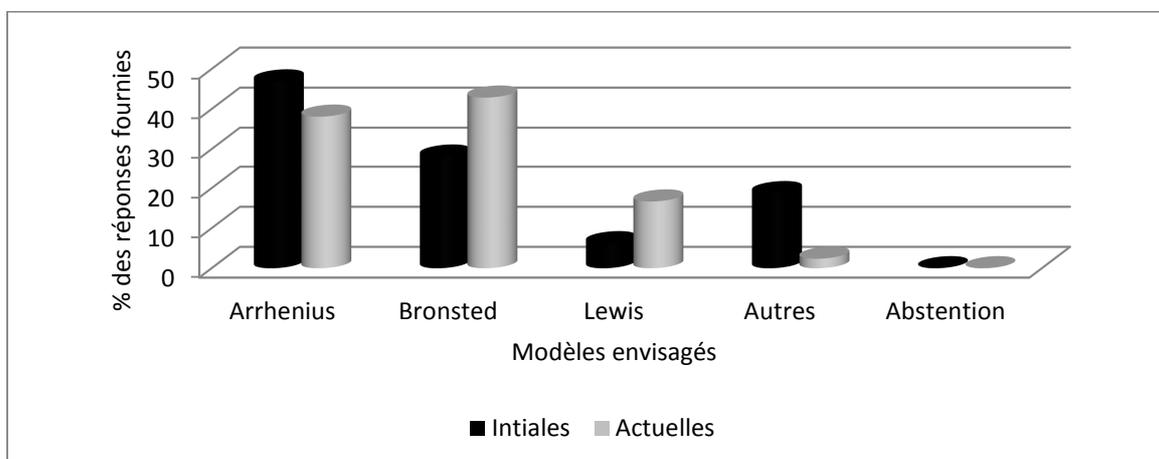


Figure 5. Fréquences des réponses des enseignants sur la connaissance du concept « base »

En effet, une partie importante des enseignants déclarent s'être engagés actuellement en faveur du modèle de Bronsted et de celui de Lewis au détriment des autres modèles. Le progrès observé pourrait s'expliquer par une capacité à une autoformation continuée et la prise de conscience –chez certains enseignants- de l'existence des lacunes dans la formation initiale.

c. ... sur le concept « réaction acide-base »

La figure 6 montre que l'allure des fréquences en conceptions actuelles est identique à celle des conceptions initiales. En effet, dans les deux situations, la majorité des enseignants optent pour la formation du sel et de l'eau comme résultat de la réaction entre un acide et une base. Cependant, dans la situation actuelle, cette tendance connaît une légère baisse : certains enseignants ont quitté cette catégorie en faveur du transfert du proton. En effet, c'est dans cette catégorie que s'observe la performance : la part en conceptions actuelles est plus importante que celle des conceptions initiales.

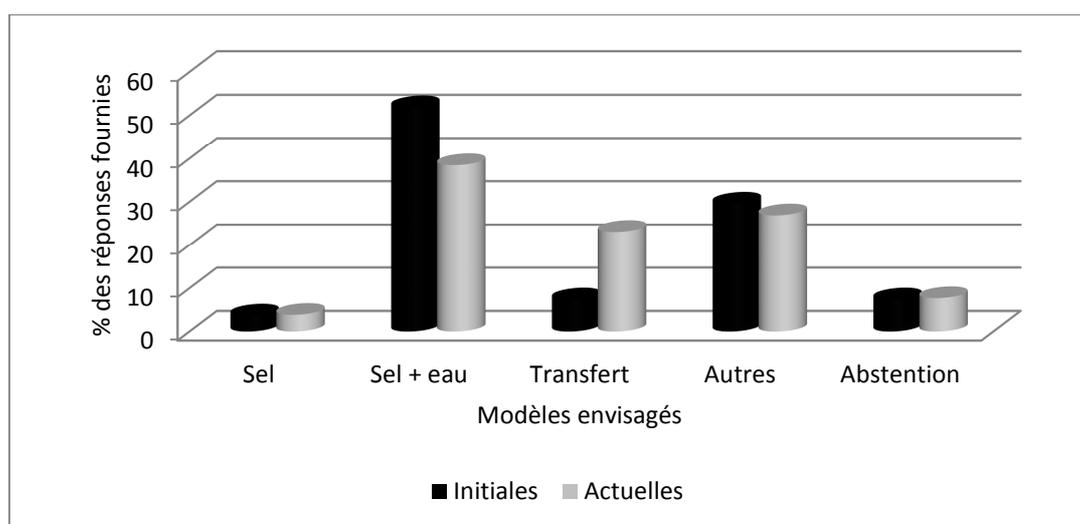


Figure 6. Fréquences des réponses des enseignants sur la connaissance de « réaction acide-base »

Par contre, certaines conceptions n'ont pas connu d'évolution : la formation du sel et les autres conceptions. Ainsi observe-t-on qu'il n'y a pas de progrès comme dans les cas précédents, pour des raisons qui restent à investiguer.

Il existe cependant une partie importante des conceptions erronées. Parmi ces conceptions, on peut citer par exemple : « deux substances considérées comme poison réagissent pour donner une substance qui n'est pas poison », « réarrangement des atomes au niveau des

molécules d'acide et de base en vue de former des corps nouveaux différents de corps mères », « *un couple partageant un doublet d'électrons* »,... comme connaissances initiales et les réponses comme « *stabilisation chimique* », « *un réarrangement des bases et des acides* » ... comme connaissances actuelles sur la définition de la réaction acide-base. Cette part importante des fausses conceptions en plus du taux important d'abstention témoigne la persistance d'un déficit de compréhension de la réaction acide-base chez les enseignants.

3.3.2. Connaissance du programme officiel

Le tableau suivant reprend les résultats relatifs aux éléments indiqués dans le contenu du programme officiel que les enseignants trouvent importants à enseigner sur la réaction acide-base. Ces éléments ont été fournis au cours de l'entretien par le second groupe d'enseignants : 11 enseignants ont passé l'interview.

D'après les 11 enseignants interrogés, les points les plus importants sur lesquels il faudra insister à propos de la réaction acide-base en dernière année secondaire supérieur sont énumérés dans le tableau 7.

En lisant le tableau 7, nous remarquons ce qui suit :

- la majorité des enseignants insistent sur l'étude de trois principaux points : la définition des concepts de base selon les différents modèles, les indicateurs colorés et la mesure du pH, le dosage acido-basique en insistant davantage sur la courbe de neutralisation, la quantité des sels formés, le choix de l'indicateur et le dosage au moyen d'un indicateur et le saut du pH.
- seulement trois enseignants insistent sur la préparation des solutions et le pH des solutions.
- uniquement deux enseignants insistent respectivement sur les prévisions de réaction acide-base à partir de constante d'acidité ou en se basant sur le couple acide-base et sur la description et l'utilisation de l'appareillage de laboratoire ainsi que les mesures de sécurité.

Tableau 7. Catégories des réponses fournies relatives à la connaissance du programme officiel

Les points importants à enseigner	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
1°définitions : acide, base et réaction acide-base	x			x		x	x	x	x	x	x
2°prévisions des réactions selon ka (couple acide-base)				x							
3°préparation des solutions						x			x		x
4°pH des solutions				x							x
5°indicateurs colorés et mesure du pH	x	x			x			x	x	x	x
6°dosage acide-base : acidimétrie et alcalimétrie	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x
°principe fondamentale de la volumétrie		x			x					x	
°calcul théorique du pH		x			x			x			
°courbe de neutralisation	x	x			x			x		x	
°dosage au moyen d'un indicateur (choix et zone)	x	x			x			x		x	
°saut du pH		x	x		x			x		x	
° quantité des sels formés	x	x	x				x	x			
7°appareillage et mesure de sécurité au laboratoire											x

Légende : De P1 à P11, les codes des professeurs qui ont participé à notre enquête. (x) correspond à la catégorie de réponse fournie par le professeur.

Quant au nombre des matières sur lesquelles insistent les professeurs, nous observons que :

- sur les sept points évoqués, seul le professeur P11 insiste sur six ; P9 sur quatre points ; les professeurs P1, P4, P8 et P10 insistent sur trois points ; les professeurs P2, P5 et P7 sur deux points et le professeur P3 n'insiste que sur le dosage acido-basique en mettant l'accent que sur la quantité du sel formé.
- pendant que les autres professeurs s'intéressent aux détails du dosage acido-basique, seul P4 n'y accorde aucune importance particulière.

Comme le traduit le tableau 7, il n'y a aucune unanimité sur l'importance accordée à tel ou tel autre point mais aussi aucun professeur n'a trouvé à la fois importante toute la matière présentée. La disparité des points traités par les différents professeurs nous a poussé à

investiguer les raisons de l'étude des autres points énumérés. Pour les uns, il s'agit de combler les lacunes des élèves en leur fournissant plus d'informations (souci de résoudre leurs difficultés) et terminer une fois pour toutes ce qui est prévu sur la chimie des acides. En revanche les autres -ceux qui donnent moins de matières- préfèrent faire la course à la montre, voir l'essentiel car la matière en chimie sixième est abondante. Pourtant, la grande partie des examens de certification portent toujours sur toute cette matière. Pour eux, il ne paraît pas utile de revenir sur des notions considérées comme vues dans les classes précédentes.

En plus du recours au programme officiel, nous avons consulté les notes des élèves ainsi que les fiches de préparation des enseignants pour vérifier si exactement tous les points déclarés importants étaient enseignés. Nous savons que l'intérêt du professeur sur telle partie modifierait les objectifs à atteindre.

Le programme officiel prévoit à propos de la réaction acide-base en dernière année, option sciences, l'étude des points suivants :

- la courbe de neutralisation d'un acide fort par une base forte et inversement : calcul théorique et représentation géométrique ;
- la zone de virage des indicateurs colorés usuels ;
- l'application au dosage acide-base en présence d'un indicateur coloré.

Ces points essentiels prévus au programme sont enseignés soit en survol soit en détails, par la plupart des professeurs au vu des cahiers des notes des élèves consultés.

Au vu de tout ce qui précède, nous nous sommes rendu compte que :

- les trois points proposés par le programme sont effectivement enseignés ;
- certains professeurs enseignent en dernière année secondaire une matière qui devrait être enseignée dans les classes inférieures. En effet, l'étude portant sur le pH des solutions, les généralités sur les indicateurs colorés et les prévisions des réactions acide-base selon leurs constantes d'acidité devrait se terminer en cinquième année secondaire. Ils accorderaient même plus d'importance à ces matières des classes inférieures qu'à la matière prévue par le programme. Ceci a pour conséquence de ne

pas terminer le programme de cours, le survoler ou ne pas atteindre les objectifs prévus pour l'enseignement de la réaction acide-base dans cette classe.

- lorsqu'ils envisagent de redéfinir les concepts d'acide, de base et de réaction acide-base en terminale, ils se limitent aux définitions telles qu'elles ont été enseignées dans les classes inférieures. Ils ne les intègrent pas progressivement dans les nouvelles matières prévues à ce niveau mais les présentent comme des notions à part, en les chevauchant les unes sur les autres. Il n'y a donc pas de nouveauté chez les élèves et probablement chez les professeurs. Ainsi les élèves n'établiraient pas de connexion entre le dosage acide-base prévu, les propriétés des mélanges tampons, la formation des sels... et les définitions des concepts acide, base et réaction acide-base.

3.3.3. Connaissances supplémentaires

La question adressée aux 11 enseignants consiste à savoir les autres connaissances dont ils disposent sur la réaction acide-base mais qu'ils ne voudraient pas enseigner pour le moment à leurs élèves. Les réponses fournies par les interviewés sont réparties en quatre catégories de réponses. Ces connaissances supplémentaires telles que mentionnées dans le tableau 8 sont :

1° l'utilisation d'un appareillage perfectionné pour l'étude du dosage acide-base et les méthodes s'y rapportant (P9) ;

2° les détails sur les équilibres acide-base (P3, P4, P6, P8, P11) dont le dosage des acides et des bases faibles (P8), la réaction acide-base dans un autre solvant que l'eau et les phénomènes connexes (P4) ainsi que le couple acide-base (P11). Cela engendrerait successivement des difficultés de compréhension par les élèves de la préparation des mélanges tampons par neutralisation partielle d'un acide ou d'une base faible ou dans l'établissement des formules mathématiques relatives aux tampons et l'absence de différentes applications de la réaction acide-base.

3° les acides, les bases et les sels d'origine organique (P3): les notions de chimie organique vues dans les classes précédentes ne seraient pas abordées sous l'angle d'acidité par ce professeur avec pour conséquence l'absence des applications de la conception acide selon Lewis.

4°rien du tout (P1, P2, P5, P7, P10): tout ce qu'ils savent à propos de la réaction acide-base ne peut être caché aux élèves.

Tableau 8. Catégories des réponses fournies indiquant les connaissances supplémentaires

Autres connaissances non enseignées	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
1°appareils, méthodes plus perfectionnés									x		
2°détails sur les équilibres acide-base			x	x		x		x			x
- dosage acides, bases faibles								x			x
- Réaction dans un autre solvant				x							
- Phénomènes connexes aux réactions acide-base				x							
- Couple acide-base											x
3°les acides, les bases, les sels organiques			x								
4°Rien à cacher	x	x			x		x			x	

Légende : De P1 à P11, les codes des professeurs qui ont participé à notre enquête. (x) correspond à la catégorie de réponse fournie par le professeur.

Cette dernière réponse suscite une interrogation : peut-on dire dans ce cas que tout ce que le professeur connaît à ce sujet est prévu au programme ? Si oui alors il est possible que certains professeurs ne se contentent que de ce qui est prévu au programme et ne savent que ça. Ces enseignants auraient-ils reçu une formation incomplète au supérieur ou ne s'informerait-ils pas suffisamment sur ces notions-là ? En revanche, parmi ces enseignants, on dénombre trois gradués (P1, P2 et P7) et deux licenciés (P5, P10) dont l'ancienneté moyenne va au-delà de dix ans. Nous n'avons pas poussé l'analyse assez loin avec ce groupe des professeurs qui déclarent ne plus disposer des notions à cacher aux élèves. Peut-être une étude complémentaire pourrait élucider davantage la réponse fournie par ce groupe de professeurs.

Il sied cependant de s'attarder sur les réponses fournies par les professeurs qui disposent d'autres informations supplémentaires à cacher aux élèves à ce niveau d'étude. Comme on peut s'en rendre compte à travers l'analyse des réponses fournies, les motivations des enseignants sont à la fois d'ordre pratique et d'ordre méthodologique.

a. Motivations d'ordre méthodologique

- *les autres détails sur les équilibres acide-base.* Ces détails sont le dosage des acides par des bases faibles et inversement: en principe lors de la préparation des mélanges tampons, on devra parler de la neutralisation partielle d'un acide faible par une base forte ou celle d'une base faible par un acide fort ce qui est implicitement une étude sur les dosages des acides et des bases faibles. Aussi dans les tests nationaux (examens d'état) des questions relatives à ce dosage reviennent souvent surtout dans la détermination graphique de la constante d'acidité ou de basicité ou dans le calcul de la quantité des sels formés. C'est dire que le professeur P8 se conforme à ce que dit le programme dans le dosage des acides et des bases : « ... *ne se limiter qu'au dosage des acides forts par des bases fortes et inversement* », chose qui n'est pas respectée dans la pratique (dans l'étude du programme nous revenons en détails sur cette incohérence). L'étude de la réaction acide-base dans un milieu non aqueux : ce n'est pas prévu au programme et cette étude semble ne pas avoir assez d'intérêt pratique pour les élèves. Mais cela devrait avoir un impact négatif sur la connaissance des élèves : la conception de Bronsted prend en compte tout solvant protique.
- *le couple acide-base conjuguée.* Le professeur P11 avoue ne pas vouloir enseigner le couple acide-base conjuguée mais déclare enseigner la définition de l'acide et de la base selon le modèle de Bronsted ! Nous ne savons pas comment cela peut être pratiquement possible : se passer de ce couple et enseigner en entier ce modèle.
- *les phénomènes connexes à la réaction acide-base:* ces phénomènes ne sont pas cités, sinon on peut les aborder dans d'autres cours comme la géographie, l'environnement, la biologie,...
- *les substances à propriétés acide d'origine organique :* ces substances que le professeur P3 déclare ne pas vouloir enseigner seraient des exemples d'acides et les bases de Lewis ! Théoriquement, si on s'en tient au programme scolaire, les élèves

ont appris ces substances aussi bien dans le cours de chimie organique (deux ans plus tôt) que dans le cours de biologie (l'année antérieure).

b. Motivations d'ordre pratique

Le dosage acido-basique appris au supérieur en utilisant *un appareillage perfectionné* comme le conductimètre et le spectrophotomètre. Le professeur P9 trouve que les élèves ne devraient pas apprendre aussi bien les méthodes exploitées que l'appareillage lui-même. Cela est tout à fait raisonnable car non prévu au programme et dans les conditions actuelles de l'enseignement au Congo, acquérir un tel matériel pour des écoles secondaires serait un rêve. Ces écoles manquent même des petits matériels comme la burette, le bécher, la pipette, le pH mètre, la balance... pour réaliser des simples dosages acide-base.

En conclusion, les autres connaissances que les enseignants ne souhaitent pas enseigner actuellement à leurs élèves sont les détails sur les équilibres acide-base et des appareils perfectionnés pour étudier le dosage acido-basique. Cependant, un enseignant pense que le couple acide-base conjugué figure parmi ces notions. Au vu des catégories des réponses fournies, la conception complète de Bronsted ne peut que s'installer difficilement chez certains élèves.

3.3.4. Connaissance du contexte d'enseignement de la réaction acide-base

Dans cette section, nous reprenons les réponses de 11 enseignants interviewés sur la connaissance de l'importance de l'enseignement et celle des difficultés d'enseignement de la réaction acide-base.

a. Connaissance de l'importance de l'enseignement

La question adressée aux enseignants est de savoir en quoi l'enseignement de la réaction acide-base est important pour les élèves. L'essentiel des réponses à cette question fournies par les enseignants est repris dans le tableau suivant.

Tableau 9. Catégories des réponses fournies indiquant l'importance de l'enseignement

Importance de l'enseignement de la réaction acide-base	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
1°déterminer le caractère d'un milieu donné									x		x
2°comprendre le comportement d'un acide envers une base											x
3°comprendre d'autres notions en chimie : redox,...	x		x					x			
4° comprendre les phénomènes courants				x							
5°accidents : intoxications alimentaires		x		x		x					
6°pour ses nombreuses applications courantes	x		x		x	x	x	x	x	x	
° plantes acides, bases ou neutres									x		
° pH des liquides physiologiques									x		
° sels courants = produits de la réaction							x				
° propriétés des substances courantes						x					
° industries locales : brassicole, pharmaceutique	x		x		x			x			
° industries chimiques : chaux,...			x								
° fabrication et utilisation des engrais										x	
° savons, traitement de l'eau			x								
7°préparation professionnelle					x						

Légende : De P1 à P11, les codes des professeurs qui ont participé à notre enquête. (x) correspond à la catégorie de réponse fournie par le professeur.

A l'école secondaire, l'étude de la réaction acide-base aide les élèves, au cours des travaux pratiques, à :

- déterminer le caractère acide ou basique d'un milieu donné (P9, P11) ;
- comprendre le comportement d'un acide envers une base et inversement (P11) ; comprendre les phénomènes courants (P4) en vue de prévenir des accidents dont les intoxications alimentaires (P2, P4, P6) ;
- comprendre d'autres notions en chimie (P1, P3 et P8) comme l'oxydoréduction; montrer aux élèves que les sels courants sont des produits de la réaction acide-base (P7) ou à préparer les élèves à la vie professionnelle (P5).

Cette étude reste surtout importante à envisager pour les nombreuses applications courantes de la réaction acide-base (P1, P3, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11).

Comme l'indique le tableau précédent, les multiples applications de la réaction acide-base dans la vie courante restent la principale raison d'enseigner la réaction acide-base aux élèves. Les applications envisagées par les professeurs sont essentiellement centrées sur les industries locales. C'est le cas des industries brassicole dont la Bralima pour fabriquer des bières et des boissons sucrées et des usines pour fabriquer des substances pharmaceutiques (P1, P3, P5, P8) telle que la fabrication de la quinine (Pharmakina), l'industrie chimique pour la fabrication de la chaux (P3), la fabrication des engrais (P10), la fabrication des savons et les usines de traitement des eaux (P3) dont la Regideso. Particulièrement les femmes paysannes fabriquent de manière artisanale le savon dur à base de la soude caustique et de l'huile de palme produite localement.

Les applications s'orientent également du côté de la médecine par les analyses médicales (P9) effectuées aussi bien dans des hôpitaux que des centres spécialisés et de la sécurité par la prévention et la compréhension des accidents (P2, P4 et P6) comme les intoxications alimentaires (P4) dont celles dues à la consommation du manioc amer et de certains fruits sauvages.

Aussi, déclarent certains professeurs, cette étude demeure importante à envisager afin de comprendre les propriétés acides des plantes médicinales et des plantes utilisées pour colorier les ongles (P9) comme la balsamine et des substances courantes (P6) ainsi que pour

comprendre les phénomènes courants telle que la pluie acide (P4) causant un grave problème d'environnement.

Notons que l'utilisation des plantes médicinales est une pratique répandue au Congo surtout dans les milieux ruraux. Cette pratique est consécutive à la culture sociale et au manque de produits pharmaceutiques modernes. Aussi les plantes utilisées en chimie comme indicateurs sont utilisées depuis des lustres par les femmes pour colorier les ongles et les lèvres. La balsamine est l'exemple le plus courant des plantes utilisées à Bukavu et ses environs par les dames à faibles revenus.

Toutes ces réponses riches en information montrent que d'une part, les enseignants comprennent l'importance de la réaction acide-base pour les élèves aussi bien en classe qu'en dehors de la classe et d'autre part, qu'il est possible d'engager des discussions partant de ces exemples connus par les deux acteurs, élèves et professeur, qui font déboucher sur une didactique appropriée aussi bien pour l'apprentissage de la réaction acide-base que pour celui des notions ultérieures.

En définitive, des choses qu'on pourrait faire remarquer sont entre autres : l'absence des contacts officiels entre ces entreprises (industries locales) et les écoles, pourvoyeuses en ouvriers. Les cadres supérieurs et dirigeants de ces entreprises sont essentiellement non-locaux ; ils ne connaissent pas le milieu dans lequel ils travaillent. Ils recrutent des ouvriers qu'ils ne connaissent pas suffisamment. En revanche, les écoles connaissent les entreprises - par l'entremise des ouvriers qui soit un frère, une sœur ou un ami, mais pas l'inverse.

b. Connaissance des difficultés d'enseignement

La question adressée aux enseignants est de savoir les difficultés d'enseignement qu'ils connaissent de la réaction acide-base. L'essentiel des réponses à cette question sont reprises dans le tableau suivant.

Tableau 10. Catégories des réponses fournies indiquant les difficultés d'enseignement

Difficultés liées à l'enseignement	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
1°enseignement théorique sans TP	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2°cours très volumineux	x				x						
3°absence du cours d'initiation au niveau inférieur						x					
4°notions non appliquées dans la vie courante											x
5°documentation insuffisante sur les détails				x							
6°pas d'initiative personnelle chez l'enseignant		x									

Légende : De P1 à P11, les codes des professeurs qui ont participé à notre enquête. (x) correspond à la catégorie de réponse fournie par le professeur.

Le tableau 10 nous indique que les difficultés liées à l'enseignement de la réaction acide-base se rapportent à :

- la méthodologie appliquée: absence des matériels didactiques pour assurer les travaux pratiques : le professeur assure le cours théoriquement sans appui expérimental (P1 à P11) ;
- le contenu du programme de chimie, *volumineux* pour certains (P1, P5) et *déficitaire* pour un autre (P6) par l'absence de prérequis ou de cours d'initiation à la chimie dans les classes inférieures à l'instar des autres cours des sciences comme la biologie suite des cours d'anatomie et de zoologie et la physique suite du cours de technologie abordés en première et deuxième années secondaires;
- la carence d'une documentation riche, détaillée et actualisée sur la réaction acide-base (P4) ;
- la méconnaissance de l'importance ou du manque d'applications de ces notions dans la vie courante des élèves (P11) ;
- l'enseignant lui-même : pas d'esprit d'initiative à aborder ou à améliorer les travaux pratiques (P2) relatifs à la réaction acide-base.

3.3.5. Connaissance des méthodes d'enseignement

Pour établir la connaissance des méthodes d'enseignement, nous avons adressé un questionnaire au premier groupe d'enseignants (au total 27) afin de recueillir la

méthodologie globale qu'ils appliquent par rapport à l'expérience professionnelle et leurs perceptions sur l'enseignement de la réaction acide-base. Ensuite, nous avons interviewé les enseignants (au total 11) assurant le cours de chimie uniquement en sciences fortes pour recueillir leurs procédés et leurs méthodes d'enseignement ainsi que la méthode qu'ils préconisent pour enseigner la réaction acide-base.

a. Méthodologie appliquée par rapport à l'expérience professionnelle

Les figures 7 à 17 se rapportent aux informations recueillies auprès de 26 enseignants qui ont accepté de répondre au questionnaire. Quatre méthodes sont exploitées pour l'enseignement de la notion d'acidité : l'exposé, l'interrogation, l'expo-interrogation et l'expérimentation au laboratoire.

A partir des méthodes appliquées, nous pouvons classer les enseignants (et donc leurs élèves) en deux groupes : un groupe qui suit le cours en ex-cathedra et l'autre groupe en interactif englobant les méthodes interrogative, expo-interrogative et expérimentale. Aussi, à partir du nombre d'années d'ancienneté (tableau 6), on distingue deux groupes d'enseignants : les enseignants qui ont moins de dix ans d'ancienneté (moins expérimentés) et les enseignants qui ont plus de dix ans (plus expérimentés). Les fréquences de la méthodologie d'enseignement appliquée par rapport à l'ancienneté sont présentées sur la figure suivante.

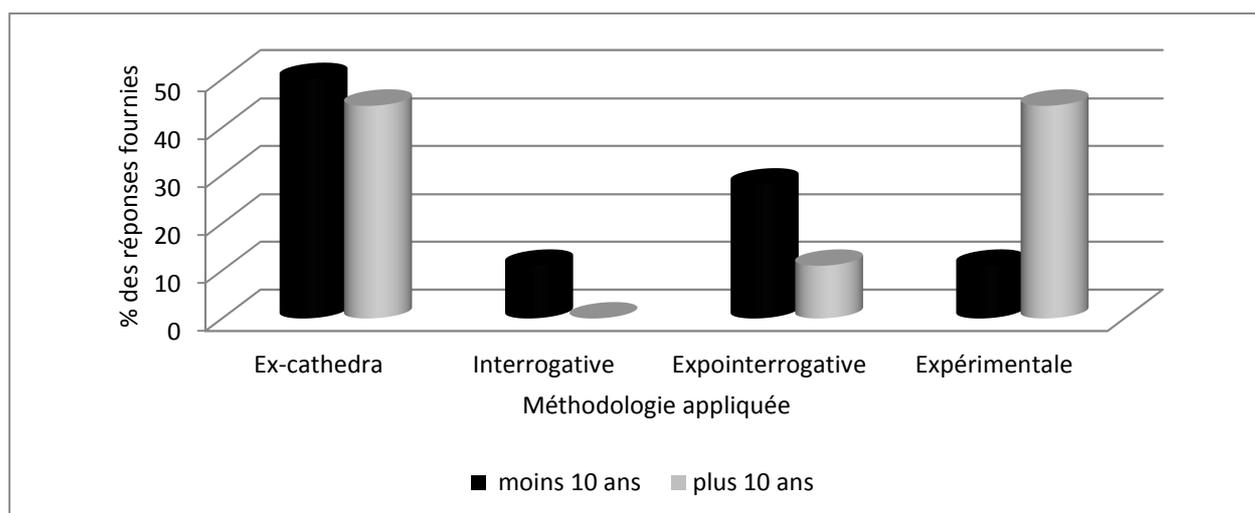


Figure 7. Méthodologie appliquée selon l'expérience professionnelle

La plupart des enseignants ayant une expérience professionnelle de plus de dix ans (la plupart des enseignants qui assurent le cours en sciences fortes) recourent à deux

méthodes : ex-cathedra et expérimentale. Par contre, ceux qui ont moins d'expérience appliquent relativement les quatre méthodes. Nombreux parmi eux recourent à l'exposé. On peut également lire sur cette figure que ce sont les plus expérimentés qui recourent davantage à la méthode interactive par rapport à leurs homologues moins expérimentés. L'indisponibilité des matériels et des produits de laboratoire est la raison évoquée par les enseignants pour recourir à l'exposé. Nous émettons l'hypothèse que les moins expérimentés essaient d'appliquer et d'expérimenter les différentes méthodes apprises pour en dégager celles qu'ils jugent efficaces. Ensuite, ils pourraient se les approprier et y accorder leur priorité.

b. Perceptions globales sur l'enseignement de la réaction acide-base

Pour recueillir les perceptions des enseignants, nous leur avons proposé de répondre à un questionnaire. Les réponses sont groupées selon le niveau d'étude de l'apprenant, la méthode appliquée et l'expérience professionnelle de l'enseignant. Ici la perception est perçue sous forme de facilité ou difficulté à enseigner la notion en question.

- ***Facilité/difficulté de l'enseignement selon niveau d'études de l'apprenant***

Les figures 8, 9, 10 et 11 indiquent par niveau d'études, la perception des enseignants sur l'enseignement des modèles acide-base. La fréquence des enseignants ayant répondu à la question est indiquée en pourcentage. Les réponses sont classées sur une échelle d'appréciation : trop facile, facile, difficile et très difficile.

1° Niveau1 : 1 heure la semaine en 3^{ème} et 4^{ème} années

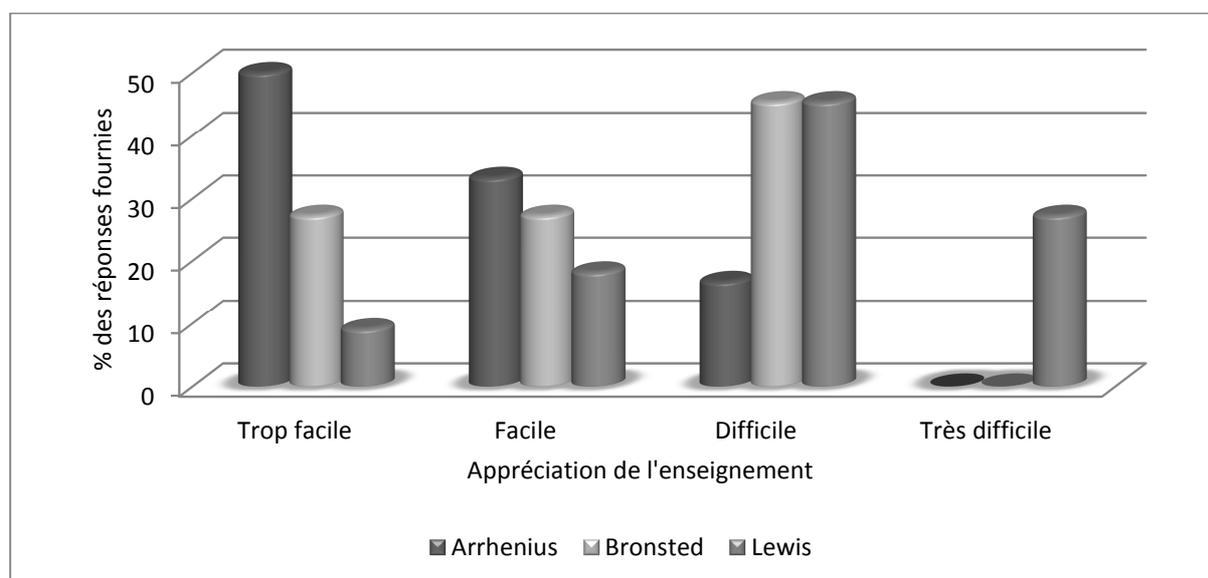


Figure 8. Enseignement de la notion d'acidité au niveau 1

De tous ces modèles, le modèle d'Arrhenius semble être facile à enseigner et celui de Lewis (non prévu pourtant dans ces classes) le plus difficile comme le déclarent les enseignants. Aussi l'apprentissage de la réaction acide-base selon ces modèles dans les classes à options sciences faibles est relativement difficile

2° Niveau 2 : 2 heures la semaine en 3ème et 4ème années

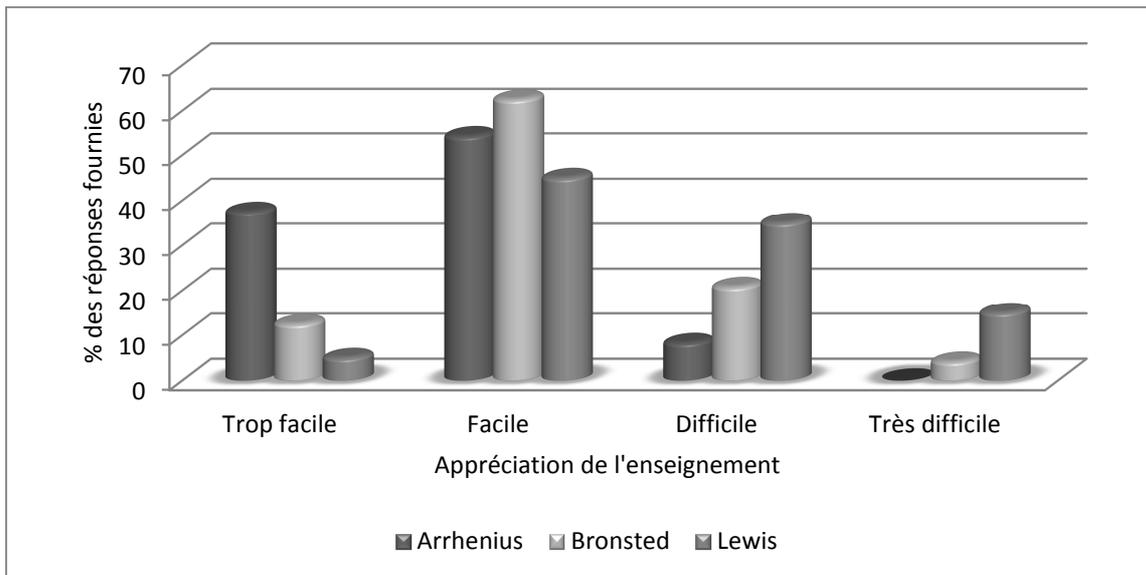


Figure 9. Enseignement de la notion d'acidité au niveau 2

Dans les classes scientifiques, le modèle d'Arrhenius est le plus facile à enseigner suivie de celui de Bronsted. Cependant les professeurs déclarent que le modèle de Lewis est aussi facile que difficile à enseigner.

3° Niveau 3 : 1 heure la semaine en 5-6 années

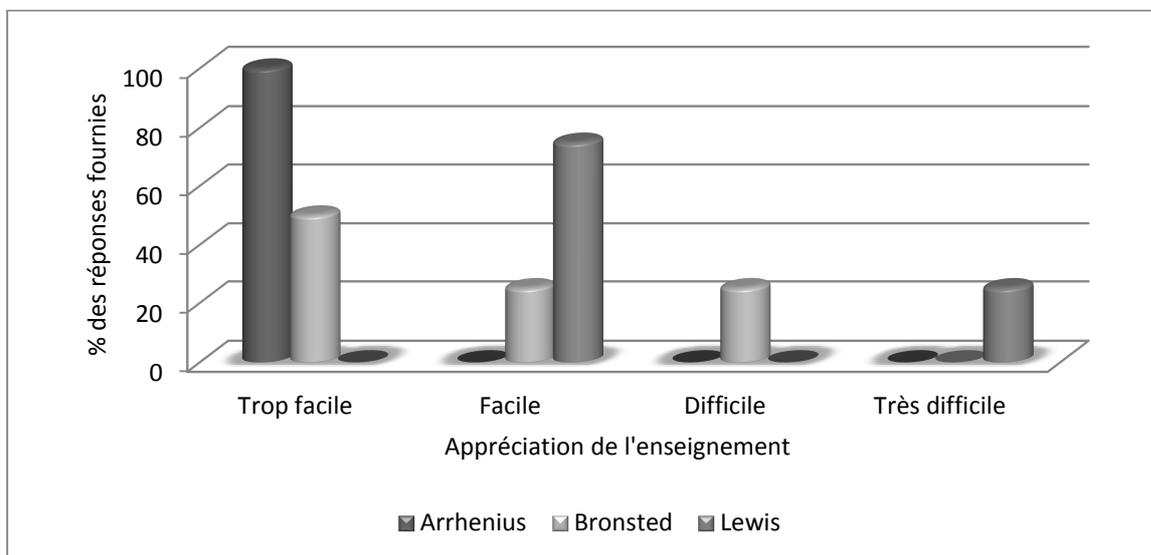


Figure 10. Enseignement de la notion d'acidité au niveau 3

La figure 10 indique que personne parmi les répondants n'a trouvé difficile l'enseignement du modèle d'Arrhenius dans la classe de 5è à vocation sciences faibles. Cependant près de

trois quarts trouve le modèle de Bronsted et celui de Lewis faciles à enseigner. Ce résultat se démarque des autres obtenus jusqu'à présent au sujet de l'enseignement du modèle de Lewis.

4° Niveau 4 : 4 heures la semaine en 5è et 6è années

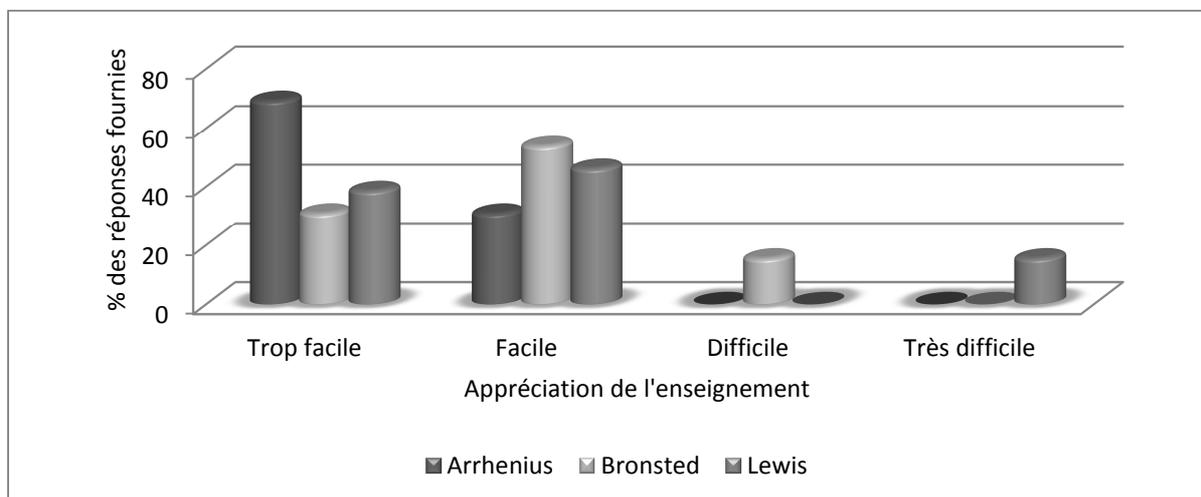


Figure 11. Enseignement de la notion d'acidité au niveau 4

La figure 11 montre que le modèle d'Arrhenius reste le plus utilisé et déclaré très facile à enseigner. Néanmoins les modèles de Bronsted et de Lewis présentent encore des difficultés d'enseignement. Globalement l'enseignement de ces trois modèles pose moins de difficultés qu'ailleurs. Cette situation s'expliquerait entre autres par le fait que c'est dans ces classes qu'on trouve des enseignants plus expérimentés et qualifiés ainsi que des élèves plus intéressés par la chimie. Rappelons que ce sont ces enseignants qui ont été interviewés.

- **Facilité/difficulté de l'enseignement selon la méthode d'enseignement appliquée**

Les réponses des enseignants relatives à leur appréciation de l'enseignement des modèles de la réaction acide-base selon la méthode appliquée en classe sont présentées dans les tableaux et figures suivants par niveau d'études et par groupe. Ici on a deux groupes d'enseignant classé selon les méthodes qu'ils appliquent : le groupe interactif qui applique une méthode favorisant l'interaction en classe et le groupe en ex-cathedra qui favorise uniquement l'exposé de la matière.

Tableau 11. Perceptions des enseignants en suivant le modèle d'Arrhenius

	Niveau 1		Niveau 2		Niveau 3		Niveau 4	
	GI	GE	GI	GE	GI	GE	GI	GE
Facilité	58,4	25	45,9	45,9	75	25	46,2	53,8
Difficulté	8,3	8,3	8,3	0	0	0	0	0

Participants : Niveau 1 : 12 Niveau 2 : 24 Niveau 3 : 4 Niveau 4 : 13

GI : groupe interactif GE : groupe en ex-cathedra

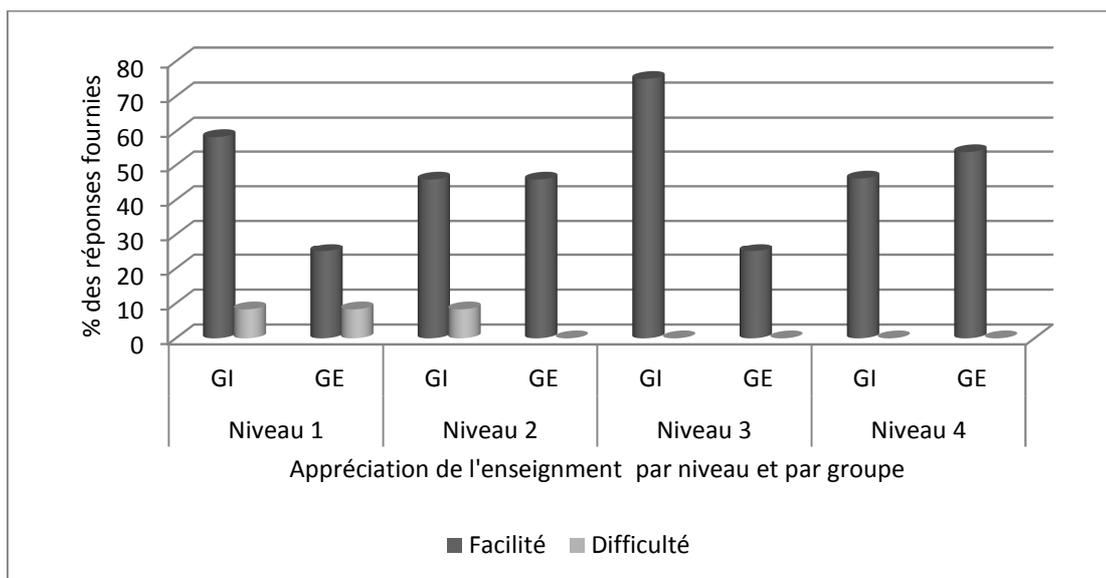


Figure 12. Perceptions des enseignants en suivant le modèle Arrhenius

Les enseignants éprouvent plus de facilité à faire apprendre la notion d'acidité selon le modèle d'Arrhenius dans les classes à vocation sciences fortes quelle que soit la méthode appliquée. Cela pourrait s'expliquer par l'assiduité des élèves à la chimie prise comme cours d'option et/ou par le temps imparti à ce cours dans cette option. D'autre part, la méthode interactive, plus participative, a une influence prépondérante par rapport à la méthode ex-cathedra dans les classes à sciences faibles.

Tableau 12. Perceptions des enseignants en suivant le modèle Bronsted

	Niveau 1		Niveau 2		Niveau 3		Niveau 4	
	GI	GE	GI	GE	GI	GE	GI	GE
Facilité	45,5	9,1	37,5	37,5	75	0	46,1	38,5
Difficulté	18,2	27,2	8,3	8,3	0	25	15,4	0

Participants : 11 pour niveau 1, 24 pour niveau 2, 4 pour niveau 3 et 13 pour niveau 4

GI : groupe interactif GE : groupe en ex-cathedra

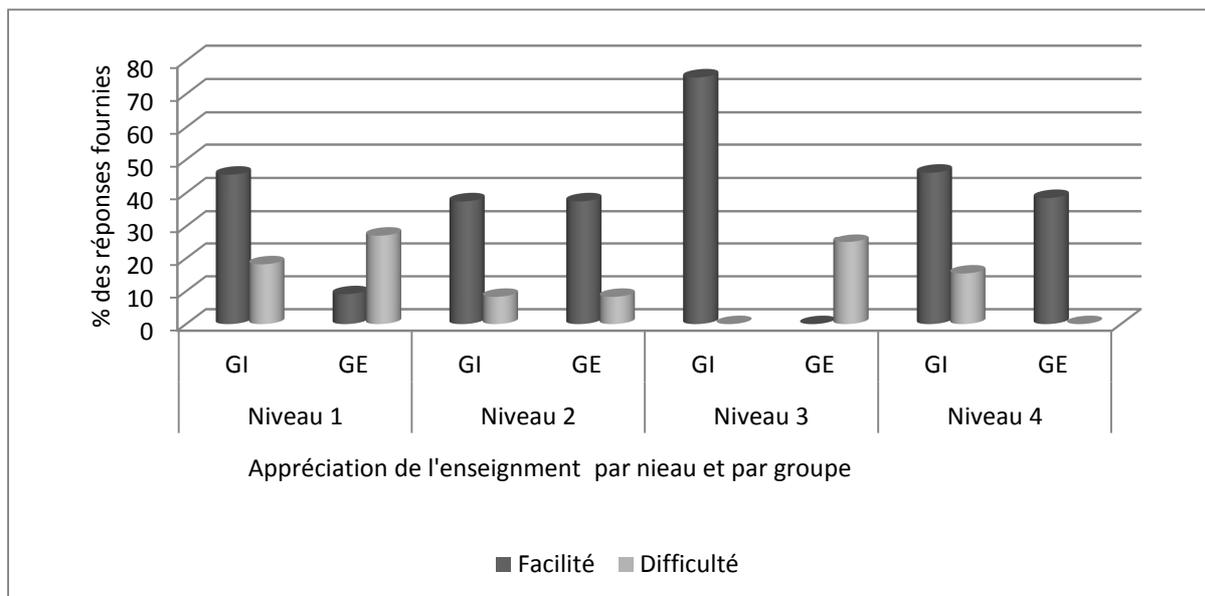


Figure 13. Perceptions des enseignants en suivant le modèle de Bronsted

Les enseignants éprouvent une facilité relative à faire apprendre la notion d'acidité selon le modèle de Bronsted dans toutes les classes quel que soit le niveau ou l'option avec le groupe interactif. Cependant, certaines difficultés d'enseignement se manifestent au début de la chimie en sciences faibles et en fin du secondaire, en sciences fortes.

Tableau 13. Perceptions des enseignants en suivant le modèle Lewis

	Niveau 1		Niveau 2		Niveau 3		Niveau 4	
	GI	GE	GI	GE	GI	GE	GI	GE
Facilité	20	0	35	15	75	0	38,5	46,2
Difficulté	50	30	25	25	0	25	7,7	7,7

Participants : 10 pour niveau 1, 20 pour niveau 2, 4 pour niveau 3 et 13 pour niveau 4

Le modèle de Lewis est difficile à faire apprendre. Il apparaît tel quel dès la première année de chimie. Dans les classes de 5-6 sciences fortes, les deux méthodes appliquées facilitent relativement la transmission aux élèves. A ce niveau l'exposé étant relativement plus avantageux que l'interactif.

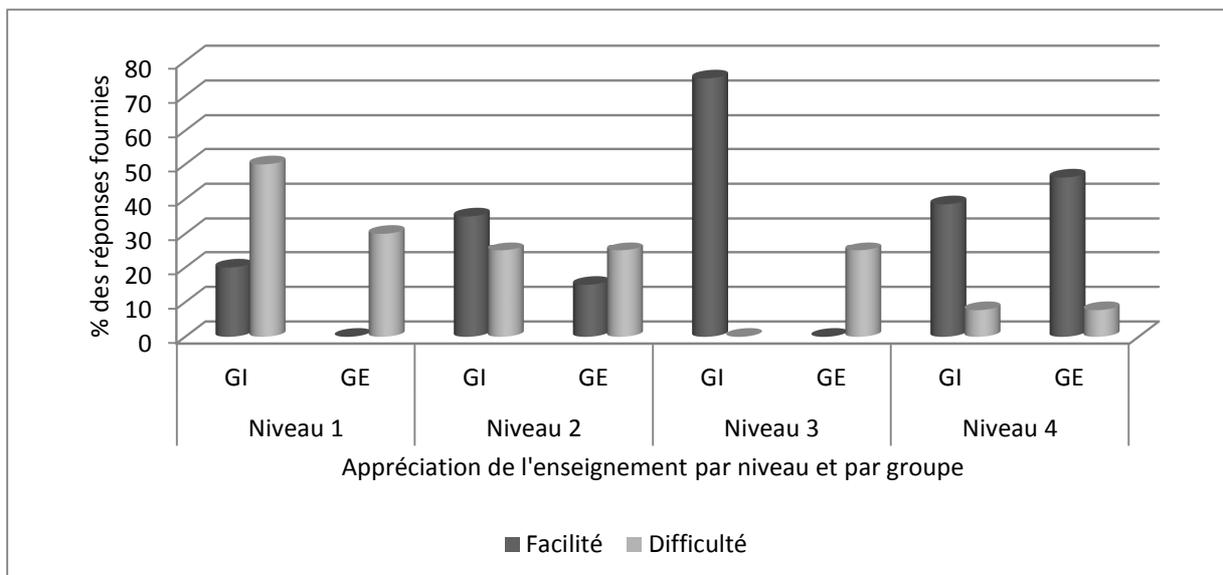


Figure 14. Perceptions des enseignants en suivant le modèle de Lewis

Ainsi la situation globale se présente comme suit :

- si l'on tient compte à la fois de la méthode appliquée par l'enseignant et la facilité de faire apprendre la notion d'acidité d'après les différents modèles, nous avons une situation où le groupe interactif est plus favorisé que le groupe ex-cathedra pour la majorité des modèles aux trois premiers niveaux. Au dernier niveau, la facilité/difficulté à enseigner le modèle de Lewis est relativement la même pour les deux groupes.
- le modèle d'Arrhenius est plus facile à enseigner que tous les autres. Il est suivi du modèle de Bronsted ; le modèle de Lewis paraissant alors plus difficile à enseigner.

- ***Facilité/difficulté de l'enseignement selon l'expérience professionnelle***

La majorité des enseignants a plus de facilité à enseigner la notion d'acidité selon le modèle d'Arrhenius quels que soient l'ancienneté et le niveau auquel elle doit être apprise. Les enseignants plus expérimentés éprouvent plus de facilité à enseigner la notion d'acidité selon le modèle d'Arrhenius que leurs homologues plus jeunes.

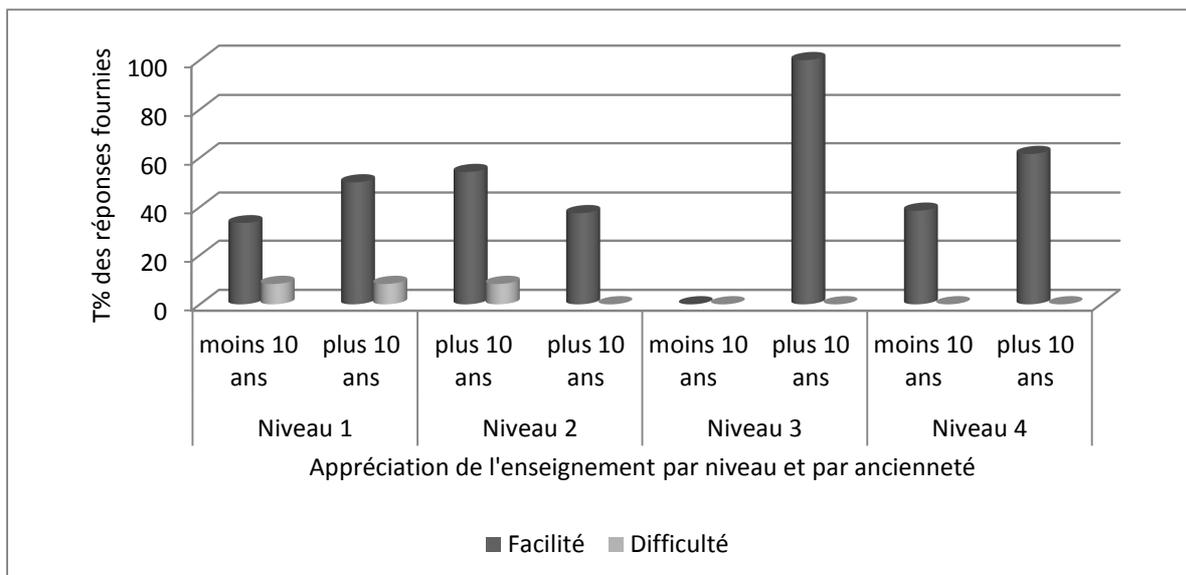


Figure 15. Appréciation de l'enseignement du modèle d'Arrhenius par niveau et par ancienneté
 Cette tendance est accentuée en 5^{ème} année sciences faibles où tous les enseignants plus anciens déclarent facile l'enseignement de ce modèle.

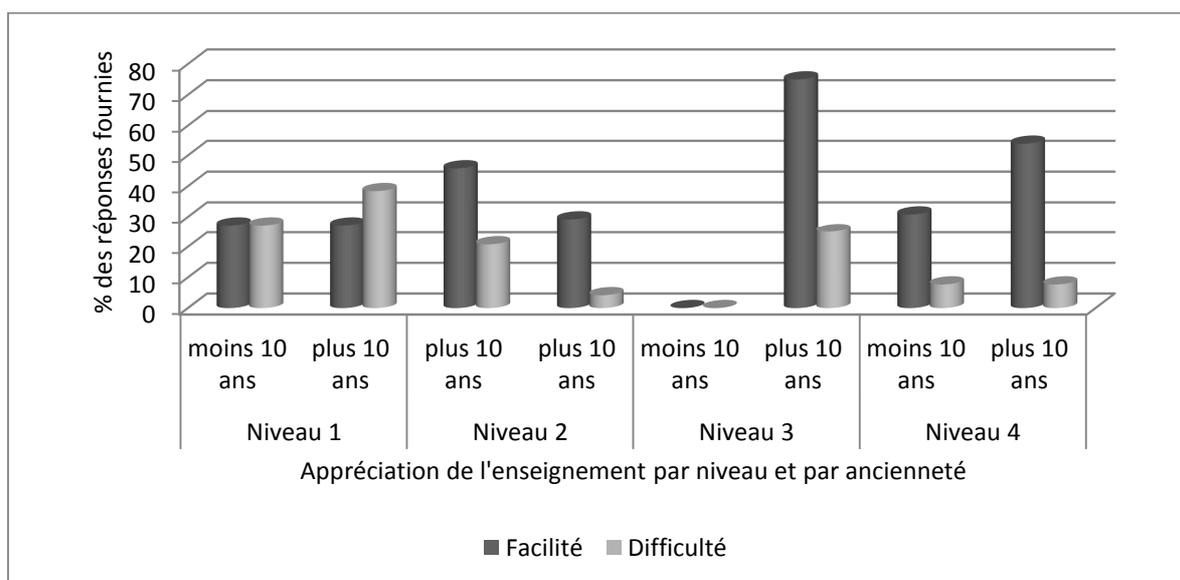


Figure 16. Appréciation de l'enseignement du modèle de Bronsted par niveau et par ancienneté
 Le degré de difficulté est proche du degré de facilité à enseigner la notion d'acidité selon le modèle de Bronsted quelle que soit l'ancienneté de l'enseignant. Cependant, aux niveaux 2 et 4 c'est-à-dire en sciences fortes, les deux groupes d'enseignants ont plus de facilité à enseigner la notion d'acidité selon le modèle de Bronsted.

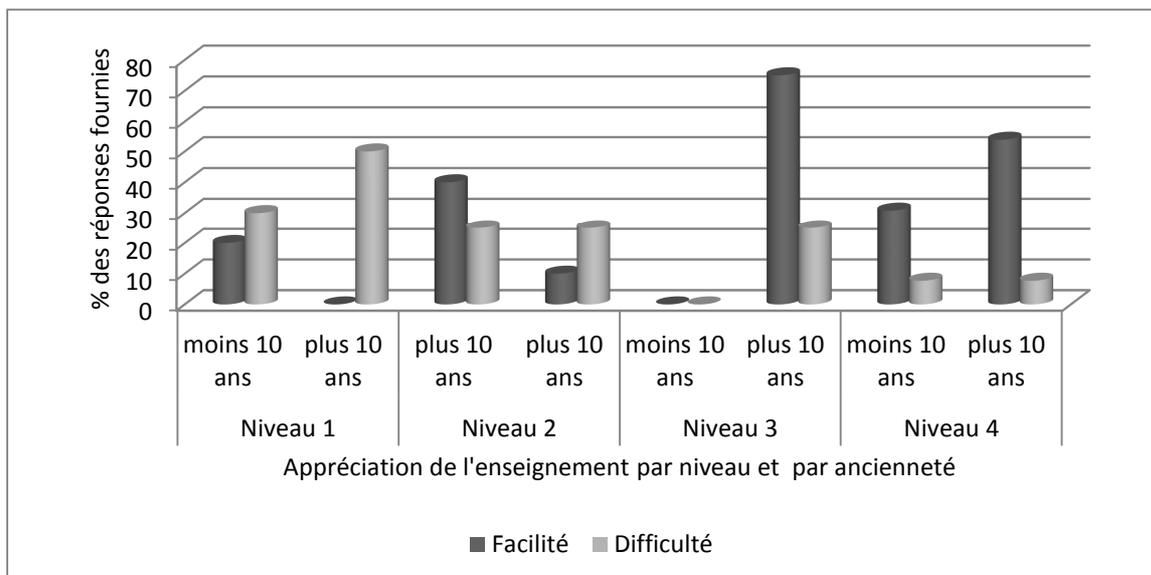


Figure 17. Appréciation de l'enseignement du modèle de Lewis par niveau et par ancienneté

Le degré de difficulté est proche du degré de facilité à enseigner la notion d'acidité selon le modèle de Lewis pendant les deux premières années de chimie. Cet enseignement apparaît encore plus difficile dans les classes à vocation non scientifique. Cette difficulté est manifeste surtout lorsque les élèves entrent en contact pour la première fois avec la chimie. Faisons remarquer que le programme ne prévoit pas cette conception à ce niveau ; mais il y a des enseignants qui préfèrent l'y introduire déjà.

D'autre part, aux niveaux 3 et 4, les enseignants plus expérimentés présentent plus de facilité à enseigner cette notion que les autres alors qu'en ce qui concerne les niveaux 1 et 2, ils présentent moins de facilité relative.

En conclusion, le modèle d'Arrhenius est déclaré plus facile à enseigner, quel que soit le niveau d'études, l'option fréquentée, la méthode employée ou l'expérience professionnelle de l'enseignant. En sciences fortes, les modèles de Bronsted et de Lewis présentent plus de difficultés d'enseignement qu'en sciences faibles. Particulièrement dans les classes de 5-6 années sciences fortes, l'enseignement des modèles de Bronsted et de Lewis présente le même degré de facilité/difficulté, le groupe plus expérimenté déclarant avoir plus de facilité que le groupe plus jeune. De l'autre côté, le groupe interactif, appliquant la méthode participative, donne plus de facilité d'enseignement que le groupe ex-cathedra. Ainsi grâce à cette méthode, le modèle de Bronsted est plus facile à enseigner. Cependant le modèle de Lewis reste dans l'ensemble plus difficile dans tous les cas d'enseignement.

c. Procédés et méthodes d'enseignement en classe

A la question de savoir comment il procède pour enseigner, la réaction acide-base en classe, l'enseignant de chimie nous donne les explications ci-après.

L'enseignement de la réaction acide-base se déroule en deux temps. Le premier temps consiste à enseigner la partie théorique en classe. Cette partie théorique prend dix à douze leçons de 50 minutes. Chaque fois, après cinq à six leçons de cours théorique, les élèves réalisent les travaux pratiques.

Dans l'ensemble, la procédure globale est la même pour tout le monde. En effet, au cours de la leçon, on suit un enchaînement logique des leçons.

La leçon commence par une introduction du sujet : le professeur focalise l'attention des élèves sur une idée, une situation qui pourrait leur permettre d'annoncer seuls le sujet. Souvent, il devrait partir d'une situation concrète connue des élèves comme la production d'un produit local, commenter ses propriétés connues. L'enseignement poursuit par un échange des questions et des réponses. La leçon est découpée en deux ou trois parties de synthèses partielles. Elle se clôture par une synthèse globale ou une application numérique. Pendant le cours théorique, l'enseignant expose les applications pratiques possibles des notions théoriques. Au cours des travaux pratiques, les élèves exploitent le protocole expérimental mis à leur disposition pour cette fin. Après avoir réalisé ces travaux pratiques, ils rédigent un rapport qu'ils remettent le lendemain au professeur.

- ***Méthode préconisée par l'enseignant pour enseigner la réaction acide-base***

Le tableau 14 indique que l'expérimentation au laboratoire est la stratégie ultime préconisée par tous les enseignants pour améliorer la qualité de leur enseignement. Si la majorité des professeurs préconisent l'expérimentation au laboratoire, il subsiste des différences d'ordre procédural par rapport à l'enseignement théorique qui sont manifestes.

Tableau 14. Catégories des réponses fournies par les enseignants sur la méthodologie suivie

Méthode particulière préconisée	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
1°manipulation au laboratoire	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
° avant enseignement théorique							x				
° avec enseignement théorique (au cours)			x								
° après enseignement théorique	x				x	x		x	x	x	x
° avant et après enseignement théorique				x							
2°schématisation	x				x						
3°schématisation et beaucoup d'exercices d'application		x									
4°enseignement par analogie			x	x							
5°applications numériques (exercices en classe)		x									
6° exploitation des images, des photos				x							
7° Enseignement par déduction				x							
8° Méthode expositive							x	x	x	x	x

Légende : De P1 à P11, les codes des professeurs qui ont participé à notre enquête. (x) correspond à la catégorie de réponse fournie par le professeur.

En effet, une bonne partie des professeurs préfèrent passer à l'expérimentation après l'enseignement des notions théoriques (P1, P5, P6, P8, P9, P10, P11). Deux professeurs voudraient introduire la leçon par le travail pratique pour déceler les conceptions des élèves ou pour apprendre un principe (P7) et conclure par ces manipulations comme application – généralisation du principe acquis (P4). Enfin, d'autres professeurs (P3, P6) pensent qu'il faut faire les manipulations en même temps que le cours théorique. Pour toutes ces démarches exploitant les manipulations en même temps que l'enseignement théorique, le professeur P6 précise qu'il s'agit là d'adopter la démarche scientifique : observation, émission des hypothèses, expérimentation, résultats, interprétation des résultats et conclusion (OHERIC). Cependant, à côté des manipulations, on pourrait exploiter les images sur certains documents ou la méthode déductive (P4).

Pour la plupart, à défaut des manipulations, la méthode expositive (P7, P8, P9, P10, P11), la schématisation (P1, P5) avec des exemples concrets (P2) pour donner aux élèves l'idée de montage du dosage acide-base, les applications numériques (P2) et l'enseignement par analogie basé sur la situation-problème (P3, P4) sont des méthodes qui conviennent.

Si la schématisation et l'analogie sont utilisées par défaut, l'expérimentation demeure la méthode idéale pour enseigner la réaction acide-base. Des avis de tous les interrogés, pour s'y prendre, le professeur exploite le protocole de manipulation (mode opératoire) y relatif.

A la question de savoir en quoi l'expérimentation au laboratoire est-elle une méthode jugée plus appropriée à cet enseignement, les enseignants avancent diverses raisons. Le tableau 15 reprend les raisons pour lesquelles cette méthode est jugée plus valable.

Tableau 15. Catégories des réponses fournies par les enseignants indiquant les raisons du choix de la méthode particulière

Raisons du choix de la méthode particulière	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P1 0	P1 1
1a. concilier la théorie avec la pratique	x	x			x			x		x	x
2a. la pratique est plus facile que la théorie							x				
3a. rendre compte de la réalité pour voir, comprendre, retenir			x	x			x		x		
4a. éviter la littérature			x								
5a. motiver les élèves en partant d'une situation						x					
6a. connecter le microscopique et le macroscopique								x			
7a. passer de la pratique à la théorie			x	x							
8a. montrer comment la réaction se déroule						x					
1b. pallier au manque de matériels et des produits		x			x						
2b. donner aux élèves l'idée d'un montage acido-basique	x										

Légende : De P1 à P11, les codes des professeurs qui ont participé à notre enquête. (x) correspond à la catégorie de réponse fournie par le professeur. Les catégories allant de 1a à 8a se rapportent à la méthode expérimentale et celles allant de 1b à 2b se rapportent à la schématisation.

La raison principale de l'utilisation de l'expérimentation est de concilier la théorie et la pratique (P1, P2, P5, P8, P10, P11) afin de rendre compte de la réalité. En effet, en manipulant, on connecte le niveau macroscopique et le niveau microscopique (P8) : on voit donc la réaction se dérouler (P6), ce qui facilite la compréhension et la rétention (P3, P4, P7, P9) des notions par l'élève. D'autres raisons viennent s'ajouter à celle-là comme la facilité de la pratique par rapport à la théorie (P7). Ainsi en passant de la pratique à la théorie, on réduit la littérature (P3, P4) et on motive l'élève (P6) en induisant sa participation. D'autre part, l'exploitation de la schématisation comme procédure d'enseignement de la réaction acide-base est justifiée par le souci de donner aux élèves l'idée du montage utilisé dans le dosage acido-basique (P1), se présentant de ce fait comme moyen palliatif au manque de matériels et de produits (P2, P5).

En conclusion, l'exposé est une méthode qui se révèle inévitable avec ou sans les travaux pratiques. Pour résoudre les difficultés des élèves, les enseignants proposent de recourir aux travaux pratiques. D'après les enseignants, le but poursuivi à travers ces travaux est de concilier la théorie avec la pratique, connecter le macroscopique et le sub-microscopique, rendre compte de la réalité : *"on voit donc la réaction se dérouler, ce qui facilite la compréhension et la rétention des notions par l'élève"*. Tout cela montre l'espoir et la conviction que ces enseignants gardent dans les manipulations comme ultime stratégie pour résoudre les difficultés des élèves. Mais certainement que l'atteinte de l'objectif poursuivi à travers ces travaux pratiques dépendra du modèle suivi par l'enseignant pendant les enseignements théoriques. En effet, un élève qui a suivi Arrhenius aura son attention attirée sur la formation du sel et de l'eau alors que celui qui a suivi le modèle de Bronsted aura son attention attirée sur le transfert de proton.

3.3.6. Connaissance des raisonnements et des difficultés des élèves

Dans les tableaux 16 & 17, nous présentons les réponses des enseignants par rapport à la question relative à leur connaissance des conceptions initiales et aux raisonnements des élèves ainsi que celle des difficultés d'apprentissage de la réaction acide – base par élèves.

Tableau 16. Catégories des réponses fournies indiquant les difficultés des élèves

Difficultés liées à l'apprentissage (niveau élève)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
1°apprentissage dans l'abstrait, pas de travaux pratiques	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2°non maîtrise des notions de chimie de base			x			x		x			
3°difficulté d'exprimer ses idées ou sa motivation			x								
4°non motivation à apprendre les sciences			x								
5°prérequis insuffisants en mathématiques	x										
6°abondance des formules mathématiques			x								
7°établissement des formules mathématiques			x			x		x			
8°interprétation des courbes et formules mathématiques			x			x		x			

Légende : De P1 à P11, les codes des professeurs qui ont participé à notre enquête. (x) correspond à la catégorie de réponse fournie par le professeur.

Il se dégage du tableau 16 que les difficultés des élèves relatives à l'apprentissage de la réaction acide-base telles que connues par le professeur sont :

- la méthodologie appliquée par l'enseignant et la manière dont les élèves abordent l'étude de cette notion: par manque de supports pédagogiques, la réaction acide-base est apprise dans l'abstrait et donc non assimilée par les élèves (P1 à P11).
- le programme scolaire par l'abondance des formules mathématiques à mémoriser (P3) ;
- l'élève lui-même : non maîtrise des notions de base sur la théorie de l'acidité (P3) ; non maîtrise des notions de mathématique se rapportant au logarithme (P3), à l'établissement ou à l'interprétation des formules et des courbes (P3, P6, P8) ; la difficulté d'exprimer ses idées surtout pendant des travaux pratiques et une démotivation générale à apprendre les sciences (P3).

Les difficultés d'ordre mathématique sont largement commentées par ceux qui les ont évoquées et pourraient être l'un des principaux nœuds du problème. Les enseignants racontent : « ... *des lacunes profondes dans le cours de mathématique qui se traduisent par des prérequis insuffisants* (P1) ; *des difficultés relatives à représenter et à interpréter des*

courbes de dosage et à établir des formules mathématiques à partir des équilibres acide-base (P3, P6 et P8) ; les élèves s'intéressent moins aux cours à caractère scientifique. Ils voudraient que l'enseignant interprète à leur place pendant qu'ils devraient apprendre à le faire petit à petit quitte à l'enseignant de les compléter (P3) ». Ce dernier (P3) poursuit : « ... les difficultés des élèves sont également liées à l'abondance des relations mathématiques proposées à ce niveau, obtenues à partir des réactifs utilisés et les produits obtenus à l'issue d'une réaction de neutralisation selon qu'elle est totale ou partielle. L'élève confond facilement ces formules les unes aux autres. »

Il se dégage des interviews menées auprès des enseignants qu'ils sont conscients qu'ils éprouvent de sérieux problèmes à enseigner la réaction acide-base et que les élèves éprouvent des problèmes à apprendre cette notion, à la fois, essentiellement à cause de l'absence d'un appui expérimental et du volume important du cours de chimie. Ainsi, l'utilité à faire des manipulations, fondée sur une volonté d'améliorer l'enseignement, est un besoin qui se fait sentir aussi bien chez l'enseignant que chez les élèves.

Dans le tableau suivant, nous indiquons les raisonnements des élèves tels que connus par les enseignants et qu'ils croient influencer l'enseignement de la réaction acide-base.

Tableau 17. Catégories des réponses fournies indiquant les raisonnements des élèves

Raisonnement des élèves	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
1°conceptions organoleptiques des acides						x	x				
2°base est un produit amorphe, non nuisible						x					
3°raisonnement orienté vers le miracle						x					
4°raisonnement basé sur TP, indicateur coloré	x	x	x	x				x	x		x
°appréciation macroscopique de la couleur	x			x				x			x
°fasciné par le changement de couleur									x		
°pas de virage de couleur envisagé											x
5°tâtonnement pour résoudre le problème		x									
6°raisonnement basé sur la théorie						x					
7°raisonnement déductif										x	
8°démarche non exploitée (non intéressé)					x						

Légende : De P1 à P11, les codes des professeurs qui ont participé à notre enquête. (x) correspond à la catégorie de réponse fournie par le professeur.

Comme l'indique le tableau précédent, la plupart des raisonnements des élèves sont orientés vers des travaux pratiques basés sur l'utilisation des indicateurs colorés pour leur permettre de vivre la réalité eux-mêmes.

Face aux manipulations, les élèves adoptent diverses attitudes : « ils croient que la réaction acide-base pourrait « *produire un miracle, des choses extraordinaires, fascinantes ... ils attendent patiemment voir ce qui se passera lorsqu'on met en présence un acide et une base* » selon le professeur P6. Certains n'expriment pas leur motivation témoignant peut-être du manque d'intérêt à ces travaux (P3). Aussi lorsqu'on procède aux manipulations sur l'acide ou la base, la plupart des élèves sont très enthousiastes et voudraient manipuler,

continuer à manipuler. Ici l'usage des indicateurs colorés rend certains élèves émerveillés par le changement de couleur de l'indicateur : « *un produit chimique qui change de couleur !* » (P9, P11) sans dépasser ce stade c'est-à-dire qu'ils ne s'arrêtent qu'à l'appréciation macroscopique de la couleur (P1, P4, P8 et P11) sans envisager au préalable le virage de l'indicateur (P11) observé. Comme on le voit, ce groupe d'élèves ne se limite qu'au niveau phénoménologique des propriétés des acides et des bases, sans aller plus loin.

Une autre catégorie d'élèves, par contre, vient au cours avec des conceptions alternatives comme les raisonnements orientés vers les propriétés organoleptiques des acides (P6, P7) et des bases (P6). Ils pensent que l'acide est un poison, une substance qui peut nuire, brûler la peau... alors que la base est amorphe, non nuisible. Ils voient la base en dualité avec l'acide : la base sert à neutraliser l'acide. Ce groupe d'élèves se limite donc à l'ancienne conception des acides et des bases.

Pendant que les uns basent leurs raisonnements sur la pratique, ceux des autres élèves s'arrêtent à la théorie (P6) au travers le tâtonnement (P2) ou la déduction (P10) pendant la résolution des exercices numériques. Ainsi on pourrait se dire que faute d'organiser des travaux pratiques, nombreux sont les élèves qui ne fondent pas leurs raisonnements sur la pratique. Ils se penchent surtout sur le calcul numérique.

A partir des réponses reprises dans le tableau 17, on peut distinguer trois niveaux des raisonnements des élèves suivis de différents comportements qu'ils manifestent:

- le raisonnement basé sur l'expérience personnelle des élèves, relatif aux propriétés organoleptiques de l'acide et de la base qui reflètent l'existence des conceptions alternatives: l'acide est un poison, une substance capable de détruire la peau alors que la base est amorphe.
- Le raisonnement relatif aux propriétés de l'acide ou de la base face à un indicateur : certains élèves sont fascinés par le changement de couleur et d'autres n'envisagent pas de changement de couleur lors du dosage acide-base ; d'autres encore s'attendent à quelque chose d'extraordinaire.
- le raisonnement mathématique, relatif à la théorie à travers la résolution des exercices c'est-à-dire les applications numériques de la théorie apprise. Au cours de la résolution d'exercices certains élèves adoptent un raisonnement déductif.

Remarquons enfin que la plupart ont une connaissance à propos des raisonnements des élèves bien que le professeur P5 déclare ne pas exploiter cette démarche, c'est-à-dire connaître les raisonnements et les difficultés des élèves !

A part les raisonnements des élèves et les méthodes appliquées par l'enseignant, d'autres facteurs peuvent influencer l'enseignement de la réaction acide-base. Les différents facteurs évoqués par les enseignants lors de l'interview sont repris dans le tableau suivant.

Tableau 18. Catégories des réponses indiquant les autres facteurs qui influencent l'enseignement

Autres facteurs qui influencent l'enseignement	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P1 0	P1 1
1°non maîtrise du concept de pH et ses applications									x		
2°utilisation des produits chimiques en famille					x			x			
3°le milieu scolaire								x			
4°la documentation : vétusté des ouvrages consultés								x			
5°stage dans les centres nutritionnels ou labos	x										
6°les connaissances antérieures : chimie, santé, biologie				x		x				x	
7°la théorie de logarithme				x							
8° la non manipulation, le manque de supports didactiques		x						x			x
9°le choix et l'utilisation des indicateurs colorés									x		x
10°la mauvaise orientation de l'élève								x			
11°la vie courante : préparation du savon, eau traitée			x		x						
12°la connaissance préalable des phénomènes naturels							x				

Légende : De P1 à P11, les codes des professeurs qui ont participé à notre enquête. (x) correspond à la catégorie de réponse fournie par le professeur.

Nous pouvons distinguer deux catégories de facteurs qui influencent l'enseignement de la réaction acide-base :

1° les facteurs internes, relatifs aux connaissances scolaires : la non maîtrise des connaissances antérieures en chimie comme le concept de pH et ses applications (P9), les prérequis en mathématique comme la théorie de logarithme(P4), en santé et en biologie (P4, P6, P10).

2° les facteurs liés au milieu de vie de l'élève dont :

- l'exploitation de ces notions dans la vie des élèves et la prise de connaissance de ces applications par les élèves : la fabrication de certains produits de base comme le savon, le traitement de l'eau... (P3, P5).
- la connaissance préalable par l'élève de certains phénomènes naturels qui se produisent dans son milieu comme la pluie acide (P7) ;
- le milieu familial : une famille qui utilise des produits chimiques favoriserait la curiosité, la motivation de son enfant à l'étude de la chimie dont les acides, les bases ou la réaction acide-base (P5, P8);
- le stage effectué par certains élèves dans des centres sociaux, nutritionnels, des usines ou des laboratoires d'analyse avant d'aborder la matière prévue en sixième année secondaire (P1).

D'autres facteurs comme la mauvaise orientation (P8), l'absence de manipulations ou de matériels didactiques (P2, P8, P11) et la vétusté de la documentation (P8) jouent une influence négative.

Pour conclure, l'enseignement de la réaction acide-base est influencé par le milieu de vie de l'élève (familial, social...), son orientation initiale dans l'option qu'il fréquente, ses connaissances des phénomènes naturels et des applications courantes relatives à l'acidité dans son milieu (environnement), ses connaissances scolaires dans les cours des sciences (dont la chimie) et les mathématiques, les conditions d'apprentissage (des supports pédagogiques et la documentation mis à sa disposition) ainsi que son expérience personnelle dans la pratique (stage).

3.3.7. Méthodes d'évaluation de la compréhension par les élèves

Afin de se rendre compte de l'acquisition des connaissances et d'établir les difficultés des élèves, les enseignants recourent à des méthodes avant ou après enseignement. Ainsi pour évaluer la compréhension de la réaction acide-base par leurs élèves (et aussi leurs difficultés), les 11 enseignants interviewés évoquent diverses méthodes. Celles-ci sont reprises dans le tableau suivant.

Tableau 19. Catégories des réponses fournies relatives à l'évaluation de la compréhension

Évaluation de la compréhension	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
1°Echange en classe avec les élèves	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
2°Interrogation orale ou écrite	x				x	x		x	x		x
3°Examen	x				x				x		
4°résolution des exercices en classe	x		x	x				x			
5°devoir à domicile					x			x			
6°travaux pratiques au laboratoire					x		X				
7°synthèse partielle au cours de la leçon										x	

Légende : De P1 à P11, les codes des professeurs qui ont participé à notre enquête. (x) correspond à la catégorie de réponse fournie par le professeur.

La plupart des professeurs reconnaissent être au courant des préconceptions et des difficultés des élèves avant d'enseigner la notion de réaction acide-base. Chacun recourt souvent à plusieurs méthodes d'évaluation de la compréhension de la réaction acide-base par les élèves. La majorité des enseignants procèdent à des questions d'échange en classe avec les élèves pour vérifier leur compréhension et résoudre leurs difficultés. A cela s'ajoutent les interrogations écrites ou orales (P1, P5, P6, P8, P9, P11), l'examen (P1, P5, P9), la résolution des exercices numériques en classe (P1, P4, P8) ou à domicile (P5, P8), l'analyse des réactions des élèves pendant les travaux de laboratoire (P5, P7) et celle des réponses aux questions pendant la synthèse partielle en classe (P10).

Les échanges, les synthèses partielles au cours des leçons, la résolution des exercices en classe ou à domicile et les travaux de laboratoire réalisés au début ou au cours de l'enseignement théorique sont considérés par les enseignants comme des moyens efficaces pour connaître les conceptions ou les difficultés des élèves. Leur exploitation pourrait permettre au professeur d'ajuster à temps le tir et d'améliorer davantage le processus enseignement–apprentissage.

Par contre, une nuance apparaît lorsqu'il s'agit des interrogations orales ou écrites et des examens : d'habitude ils sont cotés et donc sanctionnent un apprentissage. Ils ne pourraient être exploités dans ce cadre et devenir utiles dans le cas où ils porteraient sur des matières considérées comme prérequis. On ferait une évaluation prédictive afin de réfléchir sur la stratégie d'enseignement à adopter. Appliquées à la fin d'un enseignement, ces méthodes d'évaluation ont l'avantage de montrer à l'enseignant le chemin parcouru par ses élèves et celui qui reste à faire pour s'approprier les connaissances.

3.3.8. Expérience du professeur sur les difficultés d'apprentissage

Dans sa propre formation proche comme étudiant à l'université, comme élève à l'école secondaire ou encore de par son stage d'enseignement, l'enseignant a connu des difficultés d'apprentissage de la réaction acide-base. Le tableau 20 reprend le résumé des difficultés éprouvées par l'enseignant au cours de sa formation.

Tableau 20. Catégories des réponses fournies en rapport à l'expérience vécue par le professeur

Difficultés personnelles d'apprentissage	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
1° pas de laboratoire, pas de manipulations				x	x		x	x	x		x
2° préparation des indicateurs colorés										x	
3° détermination de la nature d'un indicateur			x								
4° mémoriser les formules chimiques des indic.			x								
5° confusion des colorations des indicateurs										x	
6° zone de virage d'un indicateur									x		x
7° représentation de la courbe de neutralisation	x					x					x
8° interprétation de la courbe de neutralisation		x				x			x		
° saut du pH		x									
° détermination du point d'équivalence		x									
° évolution de la courbe $\text{pH} = f(V)$	x										
° choix de l'indicateur		x									
9° comprendre les mélanges tampons			x								
10° maîtriser les différentes conceptions											x
11° langue de communication				x							
12° problème de pré-requis en mathématiques				x							

Légende : De P1 à P11, les codes des professeurs qui ont participé à notre enquête. (x) correspond à la catégorie de réponse fournie par le professeur.

La plupart des enseignants déclarent avoir connu des problèmes énormes surtout lorsqu'ils étaient eux-mêmes des élèves. C'est principalement l'absence des travaux pratiques se rapportant à la réaction acide-base qui posait problème.

Pour d'autres, lorsqu'il y avait manipulations, d'autres difficultés surgissaient comme celles liées aux indicateurs colorés : la détermination de leur nature (P3), leur préparation (P10), l'appréciation de leur couleur (P10), leur choix (P2) et leur virage (P9, P11) lors du dosage acide-base. Une difficulté particulière que présente le professeur P9, au cours de son stage et même actuellement comme enseignant, est d'expliquer l'origine des valeurs de pH indiquant la zone de virage d'un indicateur aux élèves : *« souvent on dit que cette zone est centrée sur deux unités de pH. Mais en pratique, les valeurs réelles ne répondent pas à cette condition. Moi j'ai du mal à expliquer aux élèves comment ces valeurs sont trouvées et de justifier pourquoi elles sont différentes de la théorie »*.

D'autres difficultés sont relatives à la théorie sur les indicateurs colorés : la mémorisation de leurs formules chimiques (P3) ; à la courbe de neutralisation : sa représentation (P1, P6, P11) et son interprétation particulièrement en appréciant son évolution (P1) afin d'établir le saut du pH pour déterminer le point d'équivalence ou celles relatives au choix de l'indicateur approprié au dosage (P2) ; à la théorie sur les mélanges tampons, sa compréhension (P3) ; à la maîtrise des différentes conceptions selon les différents auteurs (P11) ainsi que celles liées aux notions de mathématiques utilisées en chimie des acides (P4).

Enfin, la langue de communication (français) se présentait parfois comme un frein à l'apprentissage de la réaction acide-base (P4). À travers les réponses fournies à cette question, nous pouvons conclure que la courbe de neutralisation et les notions sur l'indicateur coloré ont été les plus difficiles pour la plupart des professeurs lorsqu'ils étaient eux-mêmes élèves.

Conclusion partielle

Le PCK des enseignants congolais sur la réaction acide-base est composée des parties décrites ci-après.

- *Connaissance du contenu disciplinaire*

Pour les concepts acide et base, la part de connaissances du modèle d'Arrhenius et des modèles erronés est relativement importante initialement. Suite à une autoformation continuée et à une prise de conscience de l'existence des lacunes dans la formation initiale, les enseignants auraient décidé d'abandonner les fausses conceptions au profit des trois conceptions classiques connues. D'autres auraient même abandonné le modèle d'Arrhenius au profit des modèles de Bronsted et de Lewis.

Par contre, pour le concept de réaction acide-base, la majorité des enseignants optent pour la formation du sel et de l'eau comme résultat de la réaction entre un acide et une base. Cependant, pour les conceptions actuelles, cette tendance connaît une légère baisse : certains ont quitté cette catégorie en faveur du transfert du proton. On note également une proportion importante des fausses conceptions témoignant la persistance d'un déficit de compréhension de la réaction acide-base chez les enseignants.

- *Connaissance du programme officiel*

Dans leur enseignement de la réaction acide-base, la majorité des enseignants insistent sur la définition des concepts de base selon les différents modèles, les indicateurs colorés et la mesure du pH, le dosage acido-basique en insistant davantage sur la courbe de neutralisation, la quantité des sels formés, le choix de l'indicateur et le dosage au moyen d'un indicateur et le saut du pH.

- *Connaissance du contexte (Importance et difficultés d'enseignement)*

• *Importance de l'enseignement de la réaction acide-base*

L'étude de la réaction acide-base en classe reste à envisager pour les nombreuses applications courantes de la réaction acide-base. Particulièrement, au cours des travaux pratiques, elle aide les élèves à :

- déterminer le caractère acide ou basique d'un milieu donné;
- comprendre le comportement d'un acide envers une base et inversement;

- comprendre les phénomènes courants en vue de prévenir des accidents dont les intoxications alimentaires;
- comprendre d'autres notions en chimie comme l'oxydoréduction;
- montrer aux élèves que les sels courants sont des produits de la réaction acide-base ;
- préparer les élèves à la vie professionnelle.

- **Connaissance des difficultés d'enseignement de la réaction acide-base**

Les difficultés liées à l'enseignement de la réaction acide-base se rapportent à :

- la méthodologie appliquée: le professeur assure le cours théoriquement sans appui expérimental ;
- le contenu du programme de chimie, *volumineux* pour certains et *déficitaire* pour d'autre par l'absence de prérequis ou de cours d'initiation à la chimie dans les classes inférieures ;
- la carence d'une documentation riche, détaillée et actualisée sur la réaction acide-base
- absence d'esprit d'initiative chez l'enseignant à aborder ou à améliorer les travaux pratiques relatifs à la réaction acide-base.

Ainsi l'enseignement de la réaction acide-base est influencé par le milieu de vie de l'élève, son orientation initiale dans l'option qu'il fréquente, ses connaissances des phénomènes naturels et des applications courantes relatives à l'acidité dans son milieu, ses connaissances scolaires dans les cours des sciences (dont la chimie) et les mathématiques, des conditions d'apprentissage ainsi que son expérience personnelle dans la pratique.

- **Connaissance des méthodes d'enseignement**

La plupart des enseignants assurant le cours en dernière année recourent à deux méthodes d'enseignement: ex-cathedra et la méthode interactive. Le modèle d'Arrhenius est déclaré plus facile à enseigner quels que soient le niveau d'études, l'option fréquentée, la méthode employée ou l'expérience professionnelle de l'enseignant. En sciences fortes, les modèles de Bronsted et de Lewis présentent plus de difficultés d'enseignement qu'en sciences faibles. Le groupe interactif, appliquant la méthode participative, donne plus de facilité d'enseignement que le groupe ex-cathedra. Ainsi grâce à cette méthode, le modèle de Bronsted est plus facile à enseigner. Cependant le modèle de Lewis reste plus difficile dans les deux cas d'enseignement.

Pour la plupart, la méthode ex-cathedra, la schématisation avec des exemples concrets pour donner aux élèves l'idée de montage du dosage acide-base, les applications numériques et l'enseignement par analogie basé sur la situation-problème sont des méthodes qui sont actuellement utilisées pour l'enseignement de la réaction acide-base. Toutes ces méthodes sont utilisées par défaut : l'expérimentation avec utilisation d'un protocole expérimental demeure la méthode idéale. La raison principale de l'utilisation de l'expérimentation est de concilier la théorie et la pratique afin de rendre compte de la réalité. En effet en manipulant, on connecte le niveau macroscopique et le niveau microscopique ce qui facilite la compréhension et la rétention des notions par l'élève.

- ***Connaissance des raisonnements et des difficultés des élèves***

La plupart des professeurs reconnaissent être au courant des préconceptions et des difficultés des élèves avant d'enseigner la notion de réaction acide-base. Ainsi, on distingue trois niveaux des raisonnements des élèves, suivis de différents comportements qu'ils manifestent:

- le raisonnement basé sur l'expérience personnelle des élèves, relatif aux propriétés organoleptiques de l'acide et de la base qui reflètent l'existence des conceptions alternatives: l'acide est un poison, une substance capable de détruire la peau alors que la base est amorphe.
- Le raisonnement relatif aux propriétés de l'acide ou de la base face à un indicateur : certains élèves sont fascinés par le changement de couleur et d'autres n'envisagent pas de changement de couleur lors du dosage acide-base ; d'autres encore s'attendent à quelque chose d'extraordinaire.
- le raisonnement mathématique, relatif à la théorie à travers la résolution des exercices. Au cours de la résolution d'exercices certains élèves adoptent un raisonnement déductif.

Les élèves éprouvent des problèmes à apprendre cette notion, à la fois, à cause de l'absence d'un appui expérimental et du volume important du cours de chimie. Ainsi pour résoudre les difficultés des élèves, les enseignants proposent de recourir aux travaux pratiques pour concilier la théorie avec la pratique, connecter le macroscopique et le sub-microscopique ou rendre compte de la réalité.

- **Connaissance des méthodes d'évaluation de la compréhension des étudiants**

Chaque enseignant recourt souvent à plusieurs méthodes d'évaluation de la compréhension de la réaction acide-base par les élèves en procédant à des questions d'échange en classe avec les élèves pour vérifier leur compréhension et résoudre leurs difficultés. A cela s'ajoutent les interrogations écrites ou orales, la résolution des exercices numériques en classe ou à domicile, les réactions des élèves pendant les travaux pratiques de laboratoire et les réponses aux questions pendant la synthèse partielle en classe.

3.4. Impact de la présentation des réponses des élèves aux enseignants

Afin d'étudier de façon indirecte la connaissance du contenu par l'enseignant et sa connaissance des difficultés des élèves sur la réaction acide-base, nous lui avons soumis pour appréciation les copies des réponses fournies par ses élèves. Les réponses obtenues à cette étape vont enrichir les parties du PCK décrites précédemment.

3.4.1. Présentation d'un échantillon des copies des réponses

Nous avons rassemblé certaines copies des réponses fournies des élèves pour former notre échantillon (annexe 8). Cet échantillon est constitué de 6 questions adressées aux élèves (Q_1 à Q_6) et 11 réponses (R_1 à R_{11}). Ces réponses ont été fournies par les élèves aux tests portant sur les modèles acide-base. Les réponses proposées par les élèves renferment des erreurs qui relèvent des difficultés d'apprentissage. Chaque réponse comprend à la fois l'assertion cochée et le justificatif avancé par l'élève.

- Pour la deuxième question Q_1 : R_1 = assertion a, c'est le niveau (valeur) du pH qui détermine l'acidité de la solution. R_2 = assertion c, un acide plus lourd (masse molaire élevée) est plus fort qu'un acide léger.
- Pour la troisième question Q_2 : R_3 = assertion b, HCl est plus fort que CH_3COOH comme sa concentration est élevée, son pH sera plus élevé.
- Pour la quatrième question Q_3 : R_4 = assertion a, l'acide chlorhydrique est un acide fort : on applique directement la formule $pH = \log 10^{-8}$, $pH = 8$. R_5 = assertion b, cet acide est plus faible que l'eau alors le pH de la solution égale à 7
- Pour la première question Q_4 : R_6 = assertion a, HCl est plus fort que l'acide acétique. Ainsi un acide plus fort exige plus de moles de base forte qu'un autre qui ne l'est pas. R_7 = assertion b, CH_3COOH exige trois moles de NaOH pour sa neutralisation

complète. Un acide plus faible exige plus de moles de base forte pour sa neutralisation complète qu'un autre qui ne l'est pas.

- Pour la cinquième question Q5, R8 = assertion a, NaOH est une base plus forte que l'ammoniaque ; alors la base NaOH exige plus de moles d'un acide fort comme HCl pour sa neutralisation complète. R9 = assertion b: NH₃ est une base plus faible, elle exige plus de moles de HCl pour sa neutralisation.
- Pour la sixième question Q6, R10 = assertion b, il s'agit d'un mélange de base faible et son sel d'acide fort. R11 = assertion e : c'est un mélange d'acide faible et son sel de base forte.

Nous avons alors proposé ces réponses pour appréciation à 11 professeurs. Seuls dix ont participé à notre enquête (P₁ à P₁₀). Nous avons ainsi remis à chaque professeur 11 copies anonymes correspondant chacune à une réponse de l'élève. Aucun enseignant n'était averti d'avance que la réponse proposée par l'élève renfermait cette erreur. Chaque enseignant devait corriger la copie de l'élève en attribuant une cote (soit la cote 5 lorsque l'assertion choisie par l'élève est jugée correcte ou la cote 10 lorsque l'assertion et la justification sont jugées correctes). Aucune cote intermédiaire ne devait être proposée. Lorsque la réponse ou la justification est erronée, le professeur devait proposer la bonne.

3.4.2. Présentation des résultats globaux

Pour analyser le contenu et caractériser la maîtrise de la réaction acide-base par les professeurs, nous avons procédé à une classification des réponses en différentes catégories d'erreurs. De celles-ci, nous avons dégagé les difficultés conceptuelles des enseignants. Cette classification pourra nous aider à analyser les réponses dérivant de l'appréciation par les enseignants des réponses proposées par les élèves. Nous avons recueilli la réaction de chaque enseignant à la réponse de l'élève. Nous avons codifié cette réaction en lui attribuant la lettre E suivie d'une lettre. Les réactions aux réponses des élèves sont groupées par question et présentées par catégorie. Elles sont présentées dans un tableau : dans une colonne à gauche, on trouve la réponse des élèves représentée par la lettre R suivie d'un chiffre et dans la ou les colonnes à droite, les catégories des réactions des enseignants - représentées par la lettre E suivie d'un chiffre. Les enseignants qui ont proposé la réponse concernée sont précisés par catégorie. La réaction de l'enseignant qui correspond à la

réponse correcte est indiquée en **gras**. On indique aussi en **gras** entre parenthèses, à côté de la réaction de l'enseignant, la réponse de l'élève lorsque les deux sont similaires.

Ci-après l'illustration de la présentation des résultats relatifs à la première question. Les détails sur les autres questions se retrouvent dans la partie annexe de ce travail (annexe 9).

Encadré 1. Question adressé aux élèves et leurs réponses sur la force d'un acide-base

Question Q1. Laquelle des assertions suivantes est correcte (+justifier la réponse)

- a. La force d'un acide augmente lorsque le pH augmente ;
- b. La force d'une base augmente avec l'augmentation du pOH ;
- c. La force d'un acide est proportionnelle à sa masse ;
- d. La force d'un acide est proportionnelle à son volume ;
- e. La force d'un acide est proportionnelle au nombre de mole d'ion H^+ qu'il libère en solution.

Pour **a**, **R₁** : c'est le niveau (valeur) du pH qui détermine l'acidité de la solution. Pour **c**, **R₂** : un acide plus lourd (masse molaire élevée) est plus fort qu'un acide léger.

Pour cette question Q1, nous avons obtenu cinq catégories des réactions des enseignants :

E₁. Aucune assertion n'est correcte. La force d'un acide augmente lorsque le pH diminue

E₂. C'est l'assertion "e". la force d'un acide est déterminée par la quantité d'ions H^+ qu'il libère en solution. On peut le savoir à partir des valeurs des constantes d'acide et du degré d'ionisation.

E₃. C'est l'assertion d. La force d'un acide est proportionnelle à son volume. Plus on dilue la solution, plus le pH augmente.

E₄. L'assertion 'c'est fausse. La force d'un acide est inversement proportionnelle à sa masse car $pH = -\log [H^+]$ avec $[H^+] = m/Meq \cdot V$ ou Meq exprime la masse.

E₅. La réponse proposée par l'élève est une fausse réponse (sans fournir de justification ni de bonne réponse)

Tableau 21. Fréquences des réactions des enseignants aux réponses de l'élève à la question 1

Réponses élèves	Catégories des réponses fournies par les enseignants				
	E1	E2	E3	E4	E5
R1	P2, P5	P1, P3, P6, P7, P9, P10	P4	-	P8
R2	P5	P1, P3, P6, P7, P9, P10	P4	P2	P8

Retenons du tableau 21, les indications suivantes:

- la moitié des enseignants attribuent la quantité d'ions H⁺ libérés en solution à la force d'un acide;
- d'autres enseignants rattachent à cette force les facteurs suivants : le pH, le volume ou la masse (poids) de l'acide. Particulièrement, le professeur P2 considère que la force d'un acide augmente lorsque le pH diminue et elle est inversement proportionnelle à son poids (masse). Le professeur P8 ne fournit aucune explication.
- aucune réponse des enseignants ne correspond aux réponses proposées par les élèves : tous les professeurs ont détecté les erreurs dans les réponses des élèves.

3.4.3. Principales réactions des enseignants

Les principales réactions proposées par les enseignants sont codifiées de E1 à E26. Par question ou groupe des réponses proposées par les élèves, nous distinguons les différentes réactions des enseignants. Le détail sur chaque réaction est à lire à l'annexe 9.

- Pour les réponses à la première question, nous avons distingué cinq réactions de E1 à E5 :

E₁. Aucune assertion n'est correcte. La force d'un acide augmente lorsque le pH diminue

E₂. C'est l'assertion e. la force d'un acide est déterminée par la quantité d'ions H⁺ qu'il libère en solution. On peut le savoir à partir des valeurs des constantes d'acide et du degré d'ionisation.

E₃. C'est l'assertion d. La force d'un acide est proportionnelle à son volume. Plus on dilue la solution, plus le pH augmente.

E₄. L'assertion 'c'est fausse. La force d'un acide est inversement proportionnelle à sa masse car $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ avec $[\text{H}^+] = m/\text{Meq} \cdot V$ ou Meq exprime la masse.

E₅. La réponse proposée par l'élève est erronée (sans fournir de justification ni de bonne réponse)

- Pour les réponses à la seconde question, nous avons distingué les réactions de E6 à E11 :

E₆: assertion b est correcte. HCl est plus fort que CH₃COOH; pour ce dernier il y a intervention de la constante d'acidité dans le calcul du pH (**sous-entendu son pH sera faible, R3**)

E₇: assertion b est fausse. Le pH d'un acide est élevé lorsque la concentration est faible et dépend de l'électrolyte considéré.

E₈: Assertion b correcte mais la justification est fausse. Plus la concentration est élevée plus le pH est faible.

E₉. L'assertion b est fausse et l'assertion d est correcte. Plus la concentration est élevée, plus le pH diminue et le pH (sous-entendu de l'acide faible) dépend du pKa avec $\text{pH} = \frac{1}{2} (\text{pKa} - \log \text{Ca})$

E₁₀. Assertion c correcte avec calculs à l'appui

E₁₁. Abstention

- Pour les réponses à la troisième question, nous avons distingué trois réactions de E12 à E14 :

E₁₂: Assertion a correcte. On applique directement la formule de $\text{pH} = -\log 10^{-8}$, $\text{pH}=8$ (**R4**)

E₁₃: assertion b correcte. L'eau est un acide plus fort que l'acide chlorhydrique HCl (vu sa faible concentration); alors pH sera égal à 7 (**R5**)

E₁₄, c'est l'assertion d qui est correcte. Comme la concentration en acide fort est très faible, on doit faire intervenir aussi la concentration en ions provenant de l'eau. On a une moyenne de pH proche de 6,9

- Pour les réponses à la quatrième question, nous avons distingué quatre réactions de E₁₅ à E₁₈ :

E₁₅ : c'est l'assertion 'a' car un acide plus fort exige plus de mole de base pour sa neutralisation complète qu'un autre qui ne l'est pas.

E₁₆ : aucune réponse proposée n'est correcte. La neutralisation de chacun de ces acides exige le même nombre de moles de base forte. Ainsi, au point d'équivalence, le nombre d'équivalents acide = nombre d'équivalents de base

E₁₇ : c'est l'assertion 'b'. La neutralisation est parfaite lorsqu'il s'agit de mettre en jeu l'acide fort et la base forte.

E₁₈ : C'est l'assertion 'b'. L'acide acétique subit une ionisation partielle tandis que l'acide chlorhydrique subit une ionisation totale.

- Pour les réponses à la cinquième question, nous avons distingué quatre réactions de E₁₉ à E₂₂ :

E₁₉. Pour a, **R8** : NaOH est une base plus forte que l'ammoniaque ; alors la base NaOH exige plus de moles d'un acide fort comme HCl pour sa neutralisation complète. .

E₂₀. L'assertion **a** est correcte mais la justification est fausse. Au point d'équivalence, il faut la même quantité chimique d'acide.

E₂₁. Aucune assertion n'est correcte. Les deux solutions exigent la même quantité de matière

E₂₂. Aucune assertion n'est correcte sans justification

- Pour les réponses à la sixième question, nous avons distingué quatre réactions de E₂₃ à E₂₆ :

E₂₃ : l'assertion b est correcte, il s'agit d'un mélange de base faible et son sel d'acide fort
(R10)

E₂₄: l'assertion est b est fausse, un tampon est un mélange de Hr/Mr ou mOH/mR

E₂₅: les assertions b, **d** et e sont correctes car un tampon est une solution d'acide ou de base avec son sel d'acide ou de base faible ou forte.

E₂₆. L'assertion e est correcte. C'est un mélange d'acide faible et son sel de base forte **(R11)**

Concernant les enseignants, on distingue deux groupes :

- ceux qui ont identifié les difficultés d'apprentissage des élèves en question parmi lesquels : (i) ceux qui ont suggéré les bonnes réponses (assertion et justification) et (ii) ceux qui ont choisi de mauvaises assertions tout en proposant des bonnes justifications par rapport à la réponse des élèves (pour illustration les réactions E7, E8 et E9) et (iii) d'autres encore ont tout simplement commis dans leurs justificatifs des erreurs différentes de celles des élèves ;
- d'autres qui n'ont pas identifié ces difficultés parmi lesquels les enseignants qui ont commis les mêmes erreurs que celles des élèves en plus de ceux qui en ont proposé davantage.

Parmi les réactions des enseignants recueillies, nous identifions d'une part, des réponses correctes aux questions posées aux élèves et d'autre part, des erreurs sur la connaissance des notions évaluées. Certaines erreurs sont similaires à celles commises par les élèves et les autres sont complètement différentes.

Tableau 22. Récapitulation des bonnes réponses fournies par les enseignants

Question	Réponses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Q1	E2	X		X			X	X		X	X
Q2	E10							X		X	X
Q3	E14	X	X		X	X	X				
Q4	E16					X		X			X
Q5	E21	X				X					X
Q6	E23*	X	X	X	X	X		X	X	X	X
Q6	E26*	X	X	X	X	X		X	X	X	X
	total	4	2	2	2	4	2	4	1	3	5

Légende : (X) la réponse proposée par l'enseignant (*) Réponse partiellement réussie par les participants

3.4.4. Difficultés conceptuelles des enseignants

A partir des réactions des enseignants, nous avons identifié certaines erreurs. Six niveaux de difficultés (de D1 à D6) en sont dégagés. Chaque niveau de difficultés correspond à une série d'erreurs. Les différentes difficultés sont les suivantes :

D1 : apprécier la force d'un acide et d'une base à partir de la concentration, du pH, de la masse ou du volume de la solution.

D2. Ne pas savoir calculer le pH ni identifier la solution présentant un pH élevé par rapport aux différentes concentrations et à la force de l'acide qu'elle contient.

D3 : ne pas concevoir qu'une même quantité d'acide faible ou d'acide fort exige le même nombre de moles de base forte pour sa neutralisation complète

D4 : ne pas concevoir qu'une même quantité de base faible ou de base forte exige le même nombre de moles d'acide fort pour sa neutralisation complète.

D5 : ne pas identifier ni désigner le couple acide-base comme étant à la base du pouvoir tampon.

D6. Apprécier la réponse fournie par l'élève sans y apporter la justification appropriée.

De haut en bas, nous disposons dans le tableau suivant les professeurs par nombre croissant de difficultés. Trois professeurs ont chacun trois difficultés ; deux ont quatre difficultés ; trois ont cinq difficultés et deux en ont six. Le nombre de difficultés varie de trois à six avec une moyenne de quatre difficultés par professeur avec des fortes fréquences pour les difficultés D5, D2, D3 et D4.

Tableau 23. Difficultés systématiques identifiées chez les enseignants

Code	D1	D2	D3	D4	D5	D6
P1		x	x		x	
P5	x	x			x	
P10		x	x		x	
P2	x		x	x	x	
P6		x	x	x	x	
P4	x	x	x	x	x	
P7		x		x	x	x
P9		x	x	x	x	
P3		x	x	x	x	
P8	x	x	x	x	x	
	4	9	8	7	10	1

Légende : (x) représente la difficulté identifiée chez l'enseignant

Peu d'enseignants présentent particulièrement les difficultés D1. Les professeurs P1, P5, P7 et P10 ont peu de difficultés traduisant avoir un bon niveau de connaissance de ces concepts. Les professeurs P2 et P6 ont un nombre moyen de difficultés alors que les autres présentent plus de difficultés.

Les difficultés D₅, D₂, D₄ et D₃ ont des fréquences les plus élevées : on les retrouve chez la plupart d'enseignants. La difficulté D₅ porte sur l'identification et la désignation du couple acide-base comme étant à la base du pouvoir tampon ; la difficulté D₂ porte sur le pH, son appréciation en fonction de la concentration et sa détermination par calcul. Par contre les

difficultés D₄ et D₃ portent la mauvaise conception de la quantité de mole d'acide fort ou de base forte nécessaire pour neutraliser une base faible ou un acide faible. La difficulté D₆ est rare et se retrouve chez un seul professeur.

Tableau 24. Difficultés identifiées chez les enseignants et les erreurs associées

Difficultés	Erreurs associées	Professeurs identifiés
D5	E23, E24, E25, E26	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10
D2	E6, E7, E8, E9, E12, E13	P1, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10
D3	E15, E16, E18	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P8, P9, P10
D4	E19	P2, P3, P4, P6, P7, P8, P9
D1	E1, E3, E4, E13	P2, P4, P5, P8
D6	E5, E20, E22	P7

Ce tableau indique également que l'on peut avoir commis beaucoup d'erreurs mais posséder peu de difficultés (et inversement). En effet, pour la majorité des cas, le nombre d'erreurs commises est inférieur aux difficultés éprouvées sauf pour les professeurs P10 et P5.

A partir de ce tableau on peut tirer les constats suivants :

- le nombre d'erreurs associées aux différentes difficultés varie entre 1 et 6. En effet, la difficulté D₄ correspond à une erreur pendant qu'on peut associer à la difficulté D₂ six erreurs. Le nombre d'erreurs associées aux autres difficultés est soit trois ou quatre.
- par ordre décroissant de fréquence, les difficultés se succèdent de la manière suivante : D₅, D₂, D₃, D₄, D₁ et D₆. Ainsi les difficultés D₅, D₂ & D₃ sont fréquentes; D₄ & D₁ sont des difficultés intermédiaires et D₆ est la difficulté rare.
- la difficulté D₃ associées aux erreurs E₁₅, E₁₆ et E₁₇ se retrouve chez plus du trois quart des professeurs interrogés ; cette difficulté est du même ordre que la difficulté D₄. Elles portent sur la quantité qu'il faut pour neutraliser un acide ou une base faible.

- Il y a des difficultés qui vont de pair. Par exemple lorsqu'on présente la difficulté relative à la neutralisation d'un acide faible ou d'un acide fort (D3), on présente forcément la difficulté sur le pH de la solution en rapport avec sa concentration ou la force d'un acide (D2) ou sur l'identification ou la désignation du couple acide-base conjuguée (D5).
- La difficulté D5 relative à l'application du modèle de Bronsted (couple acide – base conjugués) au mélange tampon se retrouve chez tous les professeurs. L'explication fournie relève du modèle d'Arrhenius.
- La difficulté D6 est rare. Elle est présente chez un seul professeur P7. En principe, chaque fois que le professeur appréciait la réponse de l'étudiant, il devrait en apporter la justification.
- Les erreurs les plus fréquentes sont relatives à la quantité de base forte ou d'acide fort qu'il faut pour assurer la neutralisation complète d'un acide faible par rapport à un acide fort ou d'une base faible par rapport à une base forte et au pH de la solution (son appréciation et sa détermination par calcul).

En nous référant aux différentes catégories des matières évaluées lors des tests destinées aux élèves, nous pouvons classer les six difficultés de la manière suivante :

- D3 & D4 : Réaction de neutralisation
- D2 : pH d'une solution
- D1 : force d'un acide
- D5 : mélange tampon (désignation et utilisation du couple acide – base conjugué)

Conclusion partielle

L'analyse des réactions fournies par les enseignants nous conduit aux conclusions suivantes :

- Les erreurs les plus facilement identifiées par les enseignants sont dans l'ordre décroissant d'identification : R7 relative à la neutralisation d'un acide faible, R1 & R2 relatives à la force d'un acide et R3, une concentration élevée entraîne une valeur élevée de pH. R4, application directe de la formule de pH face à une solution aqueuse contenant une très faible concentration d'acide ; R5, le calcul de pH d'une solution aqueuse d'acide chlorhydrique à très faible concentration. Bien que les erreurs R7,

R1, R2 et R3 soient facilement identifiables, près de la moitié des enseignants (qui les ont identifiées) ont proposé en lieu et place des mauvaises réponses.

- Les erreurs difficilement identifiées par les enseignants sont rangées dans l'ordre décroissant d'identification : R8 & R9 se rapportant au nombre de moles d'acide fort nécessaires pour neutraliser une même quantité de base faible ou de base forte ; R6 relative au nombre de moles d'acide fort nécessaires pour neutraliser une base faible par rapport à une base forte; R10 & R11 la non désignation du couple acide-base conjuguée comme étant à la base du pouvoir tampon.
- Les principales difficultés des enseignants sont centrées sur deux matières : la compréhension quantitative de la réaction acide-base (neutralisation d'un acide faible par rapport à un acide fort ou d'une base faible par rapport à une base forte: partie peu exploitée dans les enseignements et non documentée pourtant évaluée aux examens nationaux) et la compréhension qualitative de la réaction acide-base (non utilisation ou désignation du couple acide-base pour justifier le mélange tampon car le modèle de Bronsted n'est pas enseigné ou appliqué sur les autres parties de la réaction acide-base. Ainsi observe-t-on une persistance du modèle d'Arrhenius suite probablement à l'influence des manuels utilisés).

3.5. Représentation du PCK (partie synthétique)

A partir des différents éléments évoqués précédemment, nous avons localisé deux zones d'influence sur le PCK de l'enseignant: la zone à influence positive qui favorise l'amélioration de l'action didactique et la zone à influence négative qui favoriserait son blocage. Dans le cas examiné, la zone à influence positive explique la qualité de la performance, les progrès réalisés par les élèves dans l'acquisition des concepts alors que la zone négative pourrait expliquer la faible teneur de progrès.

Les deux zones d'influence sont représentées sur la figure 18 en distinguant la part de l'élève de celle de son professeur. Les différentes couleurs indiquent le degré d'influence positive ou négative telle qu'indiqué par la légende. En effet, les enseignants exploitent les domaines suivants : le contexte, le travail pratique, l'expérience vécue lors de formation et leur connaissance du contenu (les difficultés conceptuelles). Par contre, chez les apprenants, on

trouve les prérequis, le contexte, le travail pratique et les conceptions ainsi que les difficultés initiales.

1° Zone à forte influence du PCK, influence positive

Les enseignants sont convaincus que leur PCK peut s'améliorer si les problèmes suivants sont résolus :

- la possibilité de réaliser les travaux pratiques sur la réaction acide – base : ces travaux pratiques constituent un espoir pour les enseignants pour améliorer leur enseignement;
- le contexte approprié à l'étude des réactions acide-base : la possibilité de réaliser des stages dans des laboratoires, l'exploitation des produits chimiques en famille, la connaissance préalable des phénomènes naturels et surtout l'exploitation de ces réactions dans le milieu de vie de l'élève.
- la connaissance par l'enseignant des raisonnements et difficultés des élèves.

2° Zone à influence négative

Les éléments suivants peuvent constituer un blocage, un affaiblissement du PCK de l'enseignant :

- les difficultés initiales des élèves : prérequis insuffisants en chimie et en mathématiques ;
- la maîtrise du sujet par le professeur : les connaissances supplémentaires du professeur, ses connaissances antérieures, la disponibilité de la documentation pour s'informer davantage et ses difficultés conceptuelles;
- le programme scolaire : vaste, volumineux, flou (il ne précise pas la conception acide-base à privilégier) ;
- l'expérience récente du professeur comme élève ou comme stagiaire accentuerait les préjugés du professeur face à ses élèves ou favoriserait une manière routinière de faire ;
- les raisonnements et les représentations des élèves qui malgré les travaux pratiques ne s'arrêtent qu'à l'appréciation macroscopique du dosage acide-base.

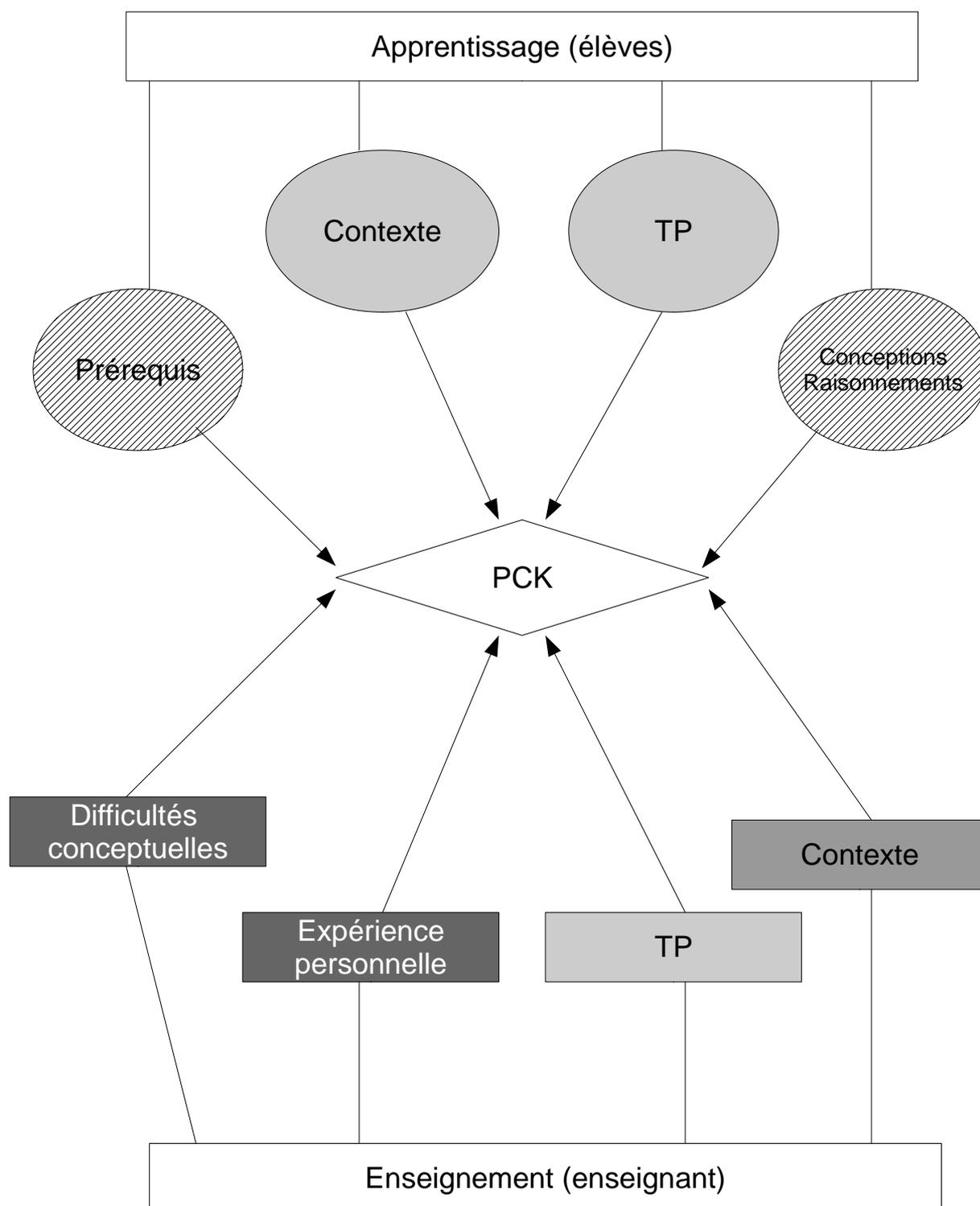
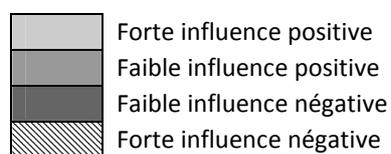


Figure 18. Représentation du PCK des enseignants

Légende :



Chapitre 4.
Les modèles et la modélisation de la réaction acide-
base dans le curriculum maîtrisé par les élèves

Étant donné que le programme recommande que les élèves réalisent les travaux pratiques par groupe, il faudrait choisir un critère objectif pour former ce groupe. C'est pourquoi pour répartir les élèves en groupe, nous nous sommes basé sur leurs styles d'apprentissage. Ce critère nous a paru objectif car les travaux pratiques sont réalisés en situation d'apprentissage et ce critère ne peut introduire aucun biais.

4.1. Styles d'apprentissage et théorie des situations

4.1.1. Styles d'apprentissage

Le style d'apprentissage désigne notre façon d'apprendre c'est-à-dire notre façon de prendre connaissance d'une nouvelle information et de la traiter (Bretz, 2005), ainsi que de la mémoriser (Hume, 2009). Selon Kolb (1984), chaque individu a sa façon préférentielle d'aborder un problème (une information) et de le résoudre ; chacun apprend donc selon son style. Il existe plusieurs classifications des styles d'apprentissage. Mais de nombreuses classifications sont fondées sur le modèle du cycle d'apprentissage de Kolb : "Kolb's learning cycle" (Bourassa et al. 1999 ; Lebrun, 2007). Ce modèle est intéressant puisqu'il présente une démarche d'apprentissage basée sur l'expérience (apprentissage expérientiel) de l'apprenant : *l'apprenant progresse au travers d'un cycle dans lequel l'expérience conduit à l'observation et à la réflexion qui à son tour conduit à la formation des concepts qui seront ensuite essayés dans diverses situations et donnent lieu à de nouvelles expériences* (Lebrun, 2007).

L'inventaire de styles d'apprentissage a l'avantage de préciser les forces et les faiblesses d'un apprenant et de révéler comment il peut améliorer sa capacité d'apprendre (Bourassa et al. 1999). Dans son modèle, David Kolb accorde de l'importance à l'expérience pour expliquer les différences d'apprentissage. Ces différences proviennent du fait de la variabilité de la manière de percevoir ces expériences et les processus à travers lesquels on donne du sens à ces expériences. La perception englobe les apprenants qui exigent des expériences concrètes ou sensorielles pour apprendre et ceux qui aiment l'abstraction et le symbolisme. Le traitement, à travers lequel les apprenants transforment ou donnent du sens à leurs expériences, concerne ceux qui apprennent en expérimentant ou en manipulant activement la situation et ceux qui préfèrent apprendre à travers une réflexion silencieuse.

Kolb (1984) a distingué quatre façons d'apprendre et d'aborder l'environnement (correspondant à quatre styles extrêmes) qui suggèrent à leur jonction quatre profils différents (ou styles intermédiaires). Il s'agit des profils suivants : *intuitif* faisant appel à l'expérience vécue (expérimentation active) ; *méthodique* à l'observation (observation réflexive), *pragmatique* à l'expérience concrète (expérimentation réfléchie) et *réflexif* au raisonnement (conceptualisation abstraite).

L'étudiant peut alors présenter un style intermédiaire entre deux styles extrêmes (Bourassa et al. 1999 ; Bretz, 2005 ; Cahay & Therer, 1998 ; Lebrun, 2007) à savoir : *convergent* (Intuitif-Réflexif), *assimilateur* (Méthodique-Réflexif), *divergent* (Méthodique-Pragmatique) et *adaptateur* (Intuitif-Pragmatique). Les détails sur les caractéristiques attribuées à chaque style intermédiaire peuvent être lus dans la partie annexe de ce travail (voir annexe 10).

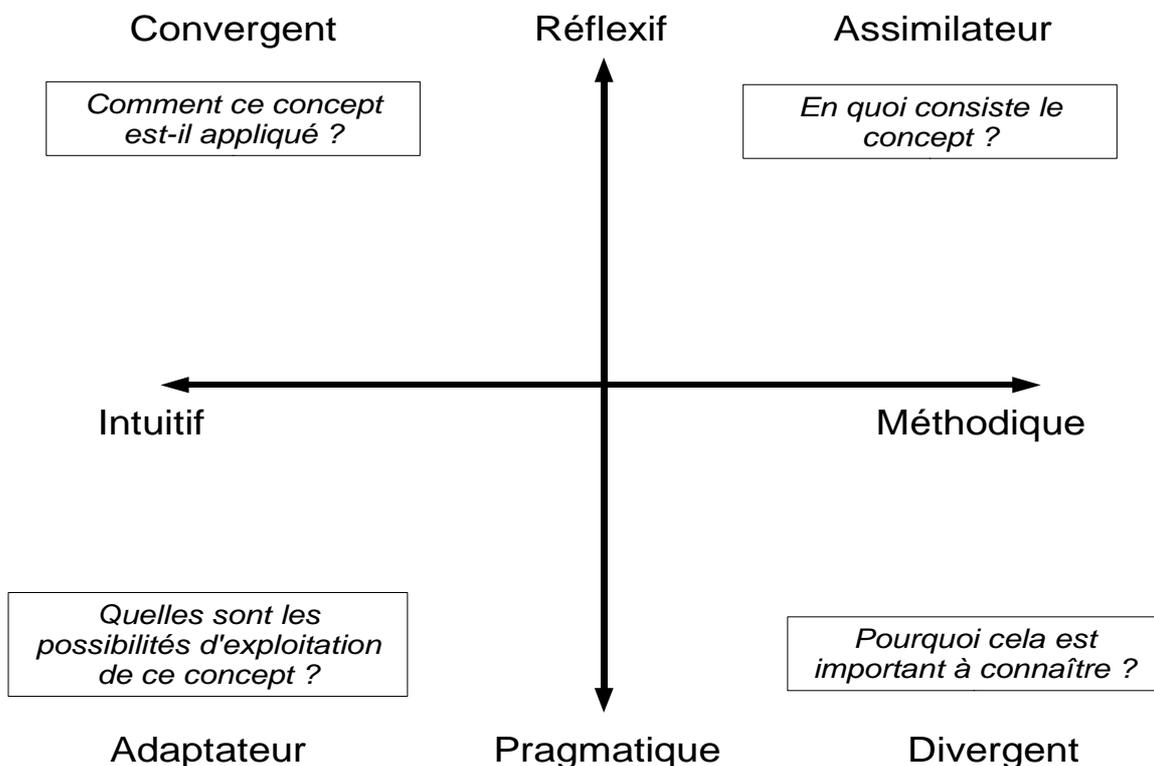


Figure 19. Styles d'apprentissage expérientiel de Kolb (Bourassa et al. 1999 ; Bretz, 2005 ; Towns, 2001)

En effet, face à un même problème, les apprenants vont se poser différemment les questions comme manière de chercher à le résoudre exprimant ainsi leur style d'apprentissage. Par exemple, les étudiants peuvent se poser les questions suivantes : pourquoi cela est important à connaître? En quoi consiste le concept ? Comment ce concept

est-il appliqué ? Quelles sont les possibilités d'exploitation de ce concept ? A chacune de ces questions correspond un style (Bretz, 2005) tel qu'indiqué sur la figure précédente.

Dans cette étude, nous inventorions les styles d'apprentissage des apprenants fréquentant la même classe afin de les répartir dans divers groupes de travaux pratiques, pour ne pas s'écarter des réalités d'apprentissage de leur classe.

4.1.2. Théorie des situations

Alain Kuzniak (2004) aborde la notion de situation didactique telle que développée par Brousseau (1998) pour mettre en exergue la dynamique des groupes et la synergie entre individus qui composent un groupe engagé dans un apprentissage scolaire ou non. En effet, le terme *situation* désigne l'ensemble des circonstances dans lesquelles une personne se trouve, et des relations qui l'unissent à son milieu. Une situation didactique est une situation où se manifeste directement ou indirectement une volonté d'enseigner. On associe à la notion de situation didactique celle de situation non didactique (ou adidactique). La situation adidactique est, par exemple, une situation rencontrée par le mathématicien ou l'utilisateur des mathématiques lorsqu'il doit résoudre un problème dont la finalité première n'est pas l'apprentissage de la mathématique. Nous allons adapter la notion de situation à l'apprentissage en chimie.

a. Situation adidactique

S'inspirant de l'usage des connaissances en mathématiques ou en dehors des mathématiques, Brousseau (1998) introduit la notion de situation adidactique pour l'élève : *l'élève s'approprie la situation proposée par le professeur non pas en faisant son travail d'élève mais plutôt celui d'un « mathématicien en herbe » préoccupé par la seule résolution du problème posé*. Le problème devient son problème à l'issue d'un processus de dévolution fondamental. Dans cette conception de l'apprentissage, l'élève doit participer à l'élaboration de ses connaissances de manière active.

Pour illustrer la conception de la théorie de la situation didactique, Brousseau (1998) se propose de l'insérer dans le triangle didactique. Ce triangle met en relation trois acteurs : le professeur, le savoir et l'apprenant (Houssaye, 2000).

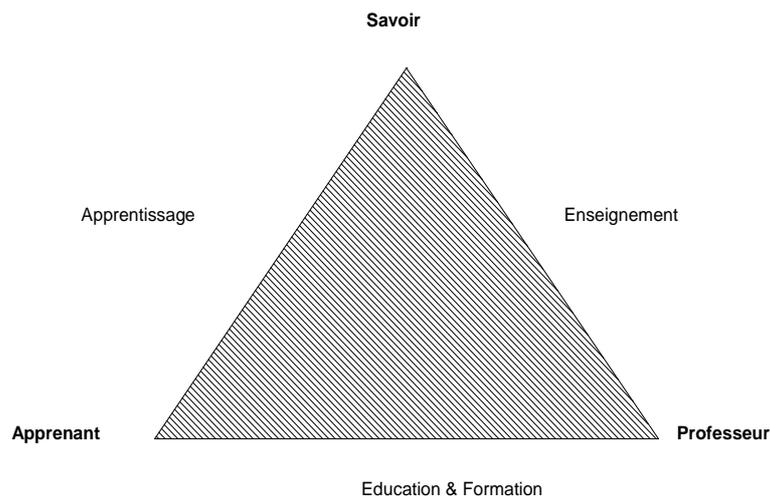


Figure 20. Triangle didactique

Si l'on se place plutôt du côté de l'apprenant en situation d'apprentissage, un autre triangle se met en place qui fait intervenir deux éléments : le milieu et les connaissances du sujet. Brousseau propose cette organisation du travail de l'élève dans une situation d'apprentissage spontané.

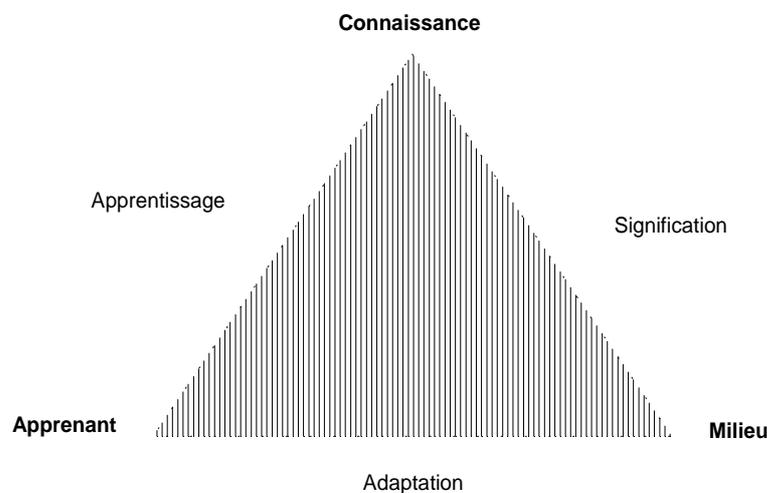


Figure 21. Adaptation de l'apprenant au milieu

Dans l'enseignement, les deux triangles se rapprochent (Kuzniak, 2004). Brousseau réorganise ces deux regards sur le système éducatif en privilégiant l'action de l'élève, le professeur a pour tâche essentielle d'établir les conditions les plus favorables à la mise en action de l'élève. La situation didactique englobe tout l'environnement de l'élève et notamment l'enseignant. La partie adidactique de la situation ou *situation adidactique* est la partie que le professeur délègue (dévoque) à l'élève. La dévolution est l'acte par lequel le professeur obtient que l'élève accepte, et peut accepter, d'agir dans une situation

adidactique. Il accepte les conséquences de ce transfert, en prenant le risque et la responsabilité de ses actes dans des conditions incertaines. Ici le professeur s'efforce d'exclure de ses interventions celles qui ont trait à la solution. Il souhaite que l'élève ne veuille obtenir la réponse que par lui-même mais en même temps il veut que l'élève donne la bonne réponse (Kuzniak, 2004). Ce dernier peut alors interagir avec un *milieu*, où il peut et doit ignorer les intentions didactiques du professeur.

b. Apprentissage coopératif

Le travail en groupe est à la base des échanges des paroles et des gestes. Il offre la possibilité de s'exprimer, permet aux membres d'interagir dans leur spécificité et leurs relations les unes avec les autres afin d'apprendre des réponses nouvelles à une situation donnée (Plety, 1996). Le but de la parcellisation du groupe 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. Selon Baker (1996) cité par Naija (2004), quand deux étudiants se mettent 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 ; ils explicitent ce désaccord et moins souvent ils tentent de le résoudre par l'argumentation dans le dialogue.

D'après Baudrit (2005, pp 6-7), les promoteurs de l'apprentissage coopératif font l'hypothèse que le travail en groupe est supérieur au travail individuel lorsqu'il s'agit d'apprentissage scolaire. Cette supériorité est liée à deux conditions principales : l'interdépendance et l'hétérogénéité des membres qui composent le groupe. En effet, les élèves des groupes coopératifs peuvent atteindre leurs objectifs d'apprentissage si les autres élèves avec qui ils sont associés atteignent les leurs. Ainsi, la réussite collective dépend de la réussite de chacun. C'est l'interdépendance. Aussi les groupes coopératifs doivent être représentatifs d'une certaine hétérogénéité. L'issue cruciale du travail coopératif est la dynamique des groupes et l'effet synergique (Tsapalis, 2009). En effet, chaque individu engagé dans un tel travail peut jouer trois rôles : apprenant, apprenant-facilitateur et leader. Un autre fait important est le mécanisme d'interactions entre individus.

c. Apprentissage actif : réaliser les travaux pratiques

Réaliser les travaux pratiques seul ou en groupe de travail est une méthode active d'apprentissage. L'apprentissage actif et l'apprentissage coopératif sont des méthodes actives du constructivisme social ou culturel. Il est reconnu à ce dernier de procurer un meilleur environnement d'apprentissage et contribue à une profonde compréhension et au développement des habiletés d'apprentissage (Tsaparlis, op.cit).

i. Buts et importance des travaux pratiques

Le travail pratique est une partie vitale de l'apprentissage de la chimie, science expérimentale. Il consiste en la réalisation d'une ou de plusieurs expériences par les étudiants. D'après Hodson (1990), les TP représentent des tâches dans lesquelles les étudiants observent ou manipulent des objets réels ou des matériels, individuellement ou en petit groupe. Ils impliquent selon Tsaparlis (2009) non seulement un laboratoire de chimie ou des démonstrations formelles mais aussi n'importe quel type d'activités qui met en œuvre des objets tangibles et procure aux étudiants l'opportunité de manipuler et d'interagir avec des produits et observer la chimie en action.

Les travaux pratiques visent premièrement à permettre aux étudiants d'observer un phénomène pour les aider à comprendre une idée ou une explication scientifique (Abrahams & Millar, 2008). Dans l'apprentissage, le but fondamental des travaux pratiques est d'aider les étudiants à construire un pont entre deux domaines de connaissance : le domaine des observables (mode réel) et le domaine des idées (monde abstrait) [Brodin, 1978; Millar et al. 1999; Tiberghien, 2000; Woodley, 2009] qu'ils vont prendre en considération dans leurs observations.

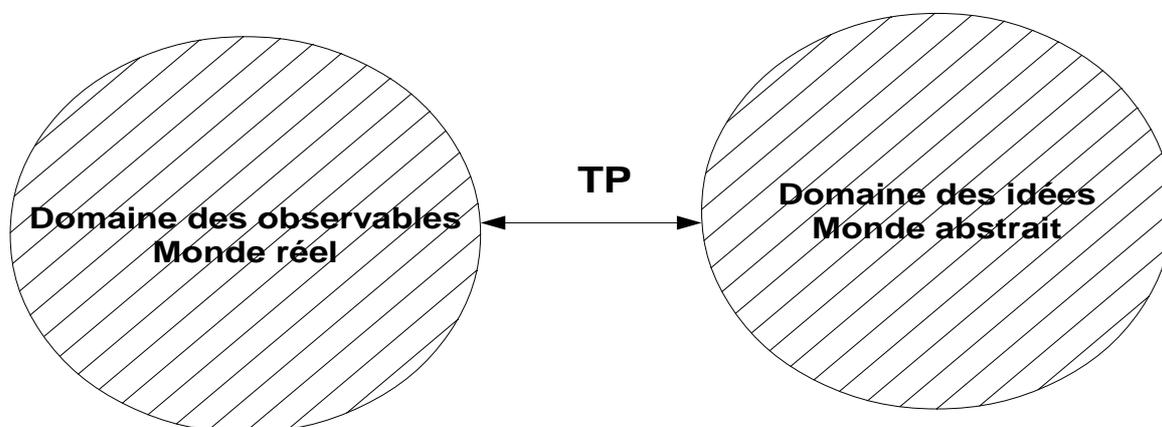


Figure 22. Travail pratique, médiateur entre deux domaines de connaissance

Si les observables représentent des objets, des matériels, des événements ou des phénomènes, les idées quant à elles englobent un ensemble d'actions mentales, ou un processus de raisonnement à propos des objets, des matériels et des phénomènes en termes d'entités théoriques et des constructions qui ne sont pas directement observables.

La littérature montre que les travaux pratiques peuvent développer diverses facultés (Millar, 2004 ; Tsapalis, 2009 ; Wellington, 2005 ; Woodley, 2009) variant entre le domaine cognitif et le domaine affectif. Dans les lignes qui suivent nous classons les différentes facultés développées selon la taxonomie de Bloom (1956) basée sur la pédagogie par objectifs. Bloom classe ces objectifs en trois domaines d'apprentissage (pédagogie et taxonomie en usage dans l'enseignement secondaire en République Démocratique du Congo) : cognitif, affectif et psychomoteur.

1° Dans le domaine cognitif, il s'agit d'acquérir des connaissances scientifiques :

- aider les étudiants à développer leur connaissance de la nature et leur compréhension des idées, théories et modèles que la science utilise pour les expliquer ;
- rendre la réalité des choses et leur donner une certaine vitalité.

2° Dans le domaine affectif, on développe les attitudes envers la science (intérêt, joie, satisfaction, confiance, motivation, sociabilité), les attitudes scientifiques (l'objectivité, l'esprit critique, la curiosité) et d'autres attitudes comme la récréation, le divertissement.

3° Dans le domaine psychomoteur (quelques habiletés pratiques), il s'agit de :

- acquérir et développer des habiletés pratiques chez les apprenants ;
- développer un apprentissage personnel, des comportements de raisonnement et comprendre la manière dont la science travaille ;
- mettre en œuvre un apprentissage expérientiel : tester ses propres idées, tester les théories, développer des stratégies de résoudre un problème, travailler en équipe et prendre la responsabilité, développer les étudiants comme des apprenants ;
- ...

i. Efficacité des travaux pratiques

Les enseignants et les scientifiques considèrent que réaliser les travaux pratiques est un fait incontournable pour apprendre la science. Ils sont convaincus que les travaux pratiques aident les étudiants à développer leur compréhension de la science, apprécier l'évidence de la science et acquérir des capacités motrices essentielles en sciences. De plus, la conséquence de réaliser le travail pratique est la compréhension des risques et des mesures de sécurité (Woodley, 2009). C'est pour toutes ces raisons que réaliser les travaux pratiques paraît intéressant et efficace dans l'apprentissage scolaire.

Pour évaluer l'efficacité des travaux pratiques dans l'apprentissage, Abrahams & Millar (2008) ont procédé à des interviews des enseignants et des élèves anglais et participé à 25 travaux pratiques de sciences (physique, biologie et chimie) dans le but d'en observer les résultats cognitifs et affectifs. Ils ont considéré les deux domaines de connaissances évoqués par Tiberghien (2000) et pour chaque domaine, deux niveaux sont à considérer : le niveau où les élèves réalisent ce qui est attendu et le niveau où ils apprennent ce qui est attendu d'eux par le professeur. Le résultat le plus important de leur travail est la séparation apparente, dans le raisonnement et la planification des enseignants, de l'enseignement de la connaissance scientifique et les procédures de la démarche scientifique.

En particulier, on a noté une différence significative entre l'efficacité de la tâche pratique dans le domaine des observables et dans le domaine des idées. Beaucoup d'enseignants attendent que leurs étudiants apprennent des idées théoriques à travers des activités pratiques, comme conséquence des actions sur des objets et des matériels. De nombreux enseignants apparaissent comme détenteurs d'une vue inductive d'apprentissage, espérant que les idées des étudiants émergent de leurs observations ou mesures fournies uniquement par le fait qu'ils produisent ces travaux de manière satisfaisante. Ainsi, les TP paraissent efficaces lorsqu'ils aident les étudiants à faire ce qui est attendu avec des objets physiques. Cependant, ils sont peu efficaces à utiliser des idées scientifiques souhaitées pour guider ou conduire leurs actions et refléter les données récoltées.

L'étude réalisée par Abrahams & Millar (2008) suggère que la tâche pratique en science peut être améliorée si les enseignants reconnaissent que des idées exploratoires n'émergent pas des observations.

Comme les travaux pratiques devraient aider les étudiants à développer des liens entre les observations et les idées, celles-ci devraient être introduites avant. Il est important qu'elles soient ensuite mises en pratique pendant les travaux pratiques. L'évidence de cette étude suggère que peu de leçons pratiques sont conçues pour stimuler une interaction entre les observations et les idées pendant l'activité pratique. Même si des leçons subséquentes sont développées, le fait que les idées ne sont pas disponibles pour établir du sens à l'activité ou aux observations faites devrait réduire l'efficacité de l'activité pratique comme un événement d'apprentissage (Abrahams & Millar, 2008. p.1966).

4.2. Travaux antérieurs sur les conceptions et les difficultés des étudiants

La réaction chimique est parmi les notions que les élèves abordent pour la première fois à leur premier contact scolaire avec la chimie et son étude s'étend sur tout le programme de chimie au secondaire à en croire la plupart des programmes et manuels scolaires consultés : français, anglais, américains, congolais...

L'importance accordée à la réaction chimique se justifie par le fait qu'elle est un élément constitutif et fondamental de la chimie. Elle est au cœur des transformations de la matière : de l'apparition des substances nouvelles. Sa connaissance par les élèves est donc un préalable pour mieux aborder les aspects importants de la chimie comme l'analyse chimique, qualitative et quantitative, l'étude descriptive des composés chimiques... De ce qui précède, on conclut que la réaction chimique donne du sens à la chimie et définit son identité.

On distingue plusieurs sortes de réactions chimiques. Deux de ces réactions occupent une bonne place dans les programmes du secondaire en République Démocratique du Congo. Il s'agit de la réaction acide –base et de la réaction d'oxydoréduction. La première étant un prérequis à la seconde. Dans cette étude, nous traitons de la didactique de la réaction acide-base à cause de son importance et de ses nombreuses applications.

En effet, la réaction acide –base, représente celle qui se déroule entre les acides et les bases. Les acides et les bases sont des espèces chimiques qui présentent sur le plan didactique et dans la vie quotidienne une importance capitale. Ils sont prévus au programme de chimie comme matière importante à étudier dès le début du cours de chimie.

L'étude de la réaction acide-base nécessite la prise en considération de différents aspects : les différents concepts comme « réaction acide-base, mélange tampon, couple acide-base, force des acides et des bases, type de réaction, courbe de pH, équation bilan ... et les aspects quantitatifs y relatifs.

Mais qu'en savent les étudiants avant ou après enseignement? Quelles sont leurs conceptions et difficultés d'apprentissage ? Comment y remédier ?

Les réponses à ces questions nous permettront de :

- comprendre comment les élèves s'approprient les concepts acide-base ;
- prendre connaissance des solutions envisagées jusqu'à présent pour résoudre leurs difficultés.

4.2.1. ... sur la réaction chimique

De nombreux chercheurs se sont intéressés depuis les années 80 aux conceptions ou aux représentations que se font les élèves de différents âges et à différents niveaux d'enseignement des transformations chimiques de la matière et aux difficultés qu'ils rencontrent dans les différents niveaux d'appréhension. L'analyse de ces difficultés prouve qu'il faut prendre en compte l'appropriation au préalable de certains concepts de base comme l'aspect particulaire de la matière, les phénomènes, la quantité de matière, ...

Les différentes études sur les transformations de la matière notent que les élèves passent du manque de différenciation entre celles-ci à celui de l'établissement de connexion entre le phénomène chimique et la réaction chimique en transitant par les difficultés à rendre compte de sa représentation par son équation chimique appropriée et l'interprétation de cette dernière. Ainsi les travaux de Stavridou & Solomonidou (1989), Ayas et Demibras (1997) appuient l'idée selon laquelle l'apprentissage de la réaction chimique passe par des stades successifs au cours desquels l'élève s'approprie différents aspects du concept comme *état, stœchiométrie, modèle, équation bilan, quantité de matière, modèle atomique, mole, substance...* ; la réaction chimique souffre de la mauvaise compréhension de ces concepts et de concepts intégrateurs comme *l'équation chimique, le réactif limitant, l'excès...*

L'explication, par les élèves, de la réaction chimique passe de la non maîtrise des concepts à celle qui nécessite son appropriation réelle, de la non distinction entre phénomène physique

et phénomène chimique (Stavridou & Solomonidou, 1989), au manque de connexion entre phénomène chimique et réaction chimique (Tsaparlis, 2003), à la non maîtrise de l'équation chimique dans sa représentation et son interprétation (Laugier et Dumon, 2000 ; Pekdag et Le Maréchal, 2001). Ces élèves en ont souvent de fausses conceptions : ils ont des difficultés à construire une phénoménologie macroscopique à partir des changements observables, à imaginer la possibilité d'une réorganisation microscopique et à lier la phénoménologie microscopique imaginée et la phénoménologie observée. Par conséquent, ces difficultés conduisent à une incapacité des élèves à utiliser correctement l'aspect symbolique pour rendre compte de la transformation chimique (Laugier et Dumon, 2004).

Méheut (1982 & 1989) a réalisé deux études portant sur les réactions de combustion (réaction abordée au début de l'initiation à la chimie) familières aux enfants depuis leur jeune âge. Il s'agit de sa thèse de doctorat et d'une étude menée dans différents pays européens dont l'objet était de cerner les représentations ou les schémas explicatifs que les élèves sont susceptibles de se construire pour interpréter ces phénomènes et parvenir à s'approprier le concept de réaction chimique. Elle constate que le rapport entre combustible et dioxygène n'est pas installé pour les élèves français du collège de 11 à 15 ans à différents niveaux, même après enseignement. Ces élèves attribuent les transformations du combustible et de l'oxygène à la chaleur, au feu ou à la flamme. Ils confondent la combustion avec la méthode de séparation des constituants d'un mélange. Ainsi, pour différents aspects de combustions tels que les transformations du combustible, la formation des produits de combustion ainsi que le rôle de l'air, les élèves proposent deux schémas de réponses: l'un centré sur la flamme comme source de chaleur et de transformation des objets (une disparition de la matière ou une transformation de la matière en gaz de masse inférieure à celle de l'objet de départ) et l'autre, centré sur des invariants comme la masse d'un objet, d'un combustible et des substances (et non des éléments). La situation d'après enseignement montre que l'interaction entre le combustible et l'oxygène c'est-à-dire la réaction chimique est rarement envisagée par les élèves. Les réponses relatives au raisonnement des élèves peuvent être réparties en deux catégories :

- réponses mettant en œuvre l'invariant : les élèves s'intéressent à la flamme qui est dotée des propriétés : elle produit de la chaleur, transforme les objets à son voisinage et fait disparaître la matière ;

- réponses relatives à l'invariance de la masse et des substances (non des éléments) :
"... le bois qui brûle c'est encore l'alcool, l'eau était présente dans le bois..."

Il faudrait non seulement qu'ils différencient la combustion qui est un phénomène chimique de la méthode de séparation qui est purement physique, envisager l'interaction entre combustible et oxygène dans le cas étudié par Méheut (op.cit) mais encore et surtout qu'ils établissent définitivement la distinction entre phénomène physique et phénomène chimique pour identifier la transformation de la matière. Méheut conclut que « *les combustions ne sont pas un bon moyen d'introduire la notion de réaction chimique* » (p.107).

Comment faire la distinction entre phénomène physique et phénomène chimique ?

Stavridou & Solomonidou (1989) soutiennent que les élèves grecs, âgés de 8 à 17 ans, utilisent non pas des critères scientifiques, mais des critères qui leur sont propres, hérités de la vie de tous les jours. Ils considèrent comme physique tout ce qui se passe naturellement et chimique, tout ce qui est provoqué par l'homme. Les élèves grecs (Solomonidou & Stavridou, 1998) de même que les élèves français (Laugier & Dumon, 2004) construisent difficilement une phénoménologie dans le niveau macroscopique à partir des changements observables. Ils ont aussi des difficultés à imaginer la possibilité d'une réorganisation dans le niveau microscopique, ainsi qu'à lier la phénoménologie microscopique et la phénoménologie macroscopique observée. L'absence d'interprétation microscopique conduit à une incapacité des élèves à utiliser correctement l'aspect symbolique pour rendre compte de la transformation chimique.

En effet, dans une recherche auprès de cinquante-deux élèves de seconde, Laugier et Dumon (2000) proposent une séquence expérimentale sur l'approche de la stœchiométrie d'une réaction chimique, la réaction entre le sulfate de cuivre et l'hydroxyde de sodium. Ils constatent que 88% des élèves affirment qu'il ne restera aucun des ions cuivre et hydroxyde après avoir mélangé des solutions de ces deux substances car ils auront réagi et se trouveront tous dans le précipité à la fin de la transformation. Selon cette étude, les élèves considèrent qu'aucun des réactifs ne reste à la fin d'une transformation chimique lorsqu'on mélange deux solutions : il n'y a pas de notion de proportionnalité chez ces élèves. Et quand bien même les élèves auraient perçu la nécessité de prendre en compte la question de proportionnalité dans une réaction chimique, ils ne dépassent pas un certain rapport ce qui

prouve que la compréhension de la grandeur quantité de matière apparaît comme une autre difficulté comme l'avaient aussi observé Davous et al, en 2000.

Ainsi, poursuivant l'idée de réactifs et de leur rapport dans la transformation chimique, Kermen & Méheut (2008b) étudient les raisons qu'avancent les élèves français pour expliquer l'arrêt d'une transformation chimique. En proposant une transformation non totale aux élèves de la terminale Sciences, l'étude menée par Kermen & Méheut révèle que seulement 17 % des élèves interrogés pour lesquels il se passe encore quelque chose avancent des explications relevant des modèles thermodynamiques (égalité du quotient de réaction et de la constante d'équilibre) et 12% le modèle cinétique macroscopique (égalité de vitesse de réaction) et aucune explication relevant du modèle cinétique microscopique (capacité des espèces à réagir). Pourtant, ce sont les deux derniers modèles dont devraient se servir les élèves pour expliquer la fin de la réaction. L'étude aboutit à la conclusion que les élèves ne se sont pas suffisamment appropriés ces outils que constituent les modèles pour expliquer l'arrêt d'une transformation. La majorité des élèves résonnent comme si la transformation était totale sans faire attention à la composition du système qui leur est fournie.

Mais les étudiants savent-ils passer du phénomène physique au phénomène chimique ou faire une connexion entre phénomène chimique et réaction chimique ? La réponse à cette question nous est d'abord proposée par l'étude menée par Tsaparlis (2003) auprès des étudiants grecs dont l'âge varie entre 15-16 ans pour les uns et entre 18-19 ans pour les autres. L'étude consiste à distinguer pour 19 phénomènes proposés, les phénomènes physiques des phénomènes chimiques et, pour le phénomène chimique, à établir une connexion avec la réaction chimique correspondante. En effet, d'après l'étude, il existe des problèmes de connexion entre phénomène physique - phénomène chimique et phénomène chimique - réaction chimique ; une portion importante d'étudiants interrogés n'établit pas de connexion entre phénomène chimique et réaction chimique. En considérant les phénomènes chimiques comme ceux causés par les humains et les phénomènes naturels comme des phénomènes physiques (Stavridou & Solomonidou, 1989), les étudiants grecs considèrent intuitivement les réactions chimiques comme des simples processus que l'on peut traduire par des équations chimiques.

Par ailleurs, Solomonidou & Stavridou (1998) établissent trois stades dans les raisonnements des élèves 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. Certains élèves ne considèrent pas la réaction chimique comme un changement mais un événement avec des manifestations comme la couleur ; d'autres interprètent ces manifestations comme un changement des réactifs mais en ignorant le résultat final à chaque transformation ;
- au deuxième stade, *il y a réaction chimique quand deux réactifs donnent quelque chose d'autre* : soit l'existence de deux réactifs initiaux [quelques élèves développent des critères personnels pour l'identification de la réaction chimique] mais pas d'un seul réactif soit la formation des nouveaux [ils 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].
- 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 la réaction chimique données par les élèves. Le changement de structure peut être vague et recouvrir plusieurs catégories de phénomène, changement d'état autant que réaction chimique. Les phénomènes sont plus ou moins identifiés et font référence aux substances de la vie courante comme aux substances rencontrées au laboratoire. Le changement 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.

Laugier & Dumon (2000) observent que les élèves de quatrième année (15-16 ans) construisent difficilement le concept de réaction chimique. Les difficultés des élèves se situent à trois niveaux de conception nettement différents mais en liaison continue : le niveau macroscopique, le niveau microscopique et l'utilisation du registre symbolique. Le dernier registre que représente l'équation chimique intègre les deux premiers niveaux.

Pour s'approprier la réaction chimique à travers l'équation chimique, les élèves butent sur "un nœud d'obstacles difficilement franchissable" selon les propres termes de Laugier et Dumon (2004). Pour comprendre la signification de l'équation de réaction, l'élève doit être en mesure de circuler entre la situation expérimentale observée et le domaine des modèles où le comportement des substances est interprété en termes de choses non visibles et moléculaires (le registre microscopique) et traduit sous forme de notations et d'équations (le registre symbolique).

Mais l'élève ne peut se construire une représentation des objets du modèle à partir de sa connaissance des objets du monde sensible.

Comme on peut le constater à travers le court développement des idées que nous venons de faire et en accord avec les idées de Ahtee & Varjola (1998) et Robinson (1999), les étudiants de différents âges et de différentes nationalités ne sont pas capables de différencier les phénomènes physique et chimique. Pour essayer de le faire, ils se servent plus de l'intuition que des concepts scientifiques appris en classe. Ils confondent réaction chimique et transformation chimique (Kermen & Méheut, 2008b). Ne retrouvant pas de concepts atomes et molécules dans leurs explications, ils n'identifient pas la formation d'une nouvelle substance comme une caractéristique de la réaction chimique. Ainsi Solomonidou & Stavridou (1998) constatent que les élèves réorganisent durant l'enseignement secondaire, leurs domaines conceptuels et construisent le concept de réaction chimique selon plusieurs stades, en suivant un chemin personnel différent du chemin attendu par le programme scolaire.

Finalement la non appropriation du concept de réaction chimique et de tous les autres concepts y relatifs est un obstacle à la compréhension des autres notions prévues sur le programme du secondaire tels que nous l'avons mentionné précédemment. Certaines solutions ont été envisagées par les didacticiens pour résoudre les difficultés présentées par les élèves et ainsi faire évoluer leurs conceptions. Les solutions envisagées tournent autour de deux idées principales, à savoir la réforme du programme en précisant et en explicitant les concepts de base et la construction des modèles d'enseignement.

4.2.2. ... sur la réaction acide – base

Les apprenants sont familiers avec les acides et les bases sur le plan phénoménologique : ils les retrouvent dans leur milieu de vie à travers les usines, l'alimentation quotidienne, les médicaments, les soins, la publicité... Cependant de nombreuses études ont montré que les étudiants présentent des difficultés sur la réaction acide-base et les concepts relatifs. Hand et Treagust (1988) ont identifié cinq mauvaises conceptions principales chez les étudiants âgés de 16 ans sur les concepts d'acidité à savoir : *un acide est ce qui détruit un matériel ou qui peut brûler, on ne peut tester un acide qu'en essayant de détruire quelque chose, la neutralisation est la chute d'un acide ou tout ce qui a la propriété d'un acide, l'acide fort détruit plus rapidement que ne le fait l'acide faible, une base est quelque chose qui fabrique un acide*. L'ensemble de ces idées ont été également citées par Barke et al. (2009, p 176).

Dans ces citations, on constate que les étudiants donnent des états descriptifs en mettant l'accent sur les aspects de continuité dont certains incluent des idées d'action et anthropomorphiques des acides et des bases et négligent le modèle particulaire de la matière (Barke et al. 2009). Les différentes difficultés des étudiants sont attribuables à plusieurs facteurs (Sheppard, 2006) dont principalement : (i) la non compréhension de l'aspect particulaire de la matière (Birk & Yeziarki, 2006), (ii) la confusion entre la terminologie acide-base et le langage courant (Schmidt, 1991) ou (iii) des confusions entre les concepts chimiques qui surviennent suite à l'omission dans des programmes d'associer certaines idées comme les paires d'acide-base conjugués (Schmidt, 1995).

Dans le sens des paires acide-base conjugués, Schmidt (1995) a identifié deux principales mauvaises conceptions parmi les étudiants allemands : (i) confondre les paires d'acide-base non conjuguées et conjuguées (ii) considérer les paires acide-base comme des paires d'ions chargés positivement et négativement comme s'ils se neutralisaient. Ainsi beaucoup d'étudiants emprisonnent la paire acide-base dans la seule réaction de neutralisation. Barke et al. (2009) ajoutent que lorsqu'on discute à propos des paires acide – base, les étudiants ne considèrent pas le niveau des particules; ils préfèrent établir que " le chlorure d'hydrogène et l'eau forment la paire acide-base correspondante".

D'autre part, l'utilisation de plusieurs modèles acide-base (Schmidt,1991) et la difficulté d'accepter le caractère ampholyte de certaines substances comme l'eau (Schmidt et Volke,

2003) ou tout autre acide/base (Tan et al., 2004) intervenant à d'autres types de réaction sont une suite d'éléments qui accentuent les difficultés manifestes des étudiants.

Parfois l'une de principales difficultés que rencontrent les étudiants réside au niveau des modèles acide-base. Généralement, à l'école secondaire, deux modèles sont prévus : le modèle d'Arrhenius, vu au second degré et qui servira de préconception au modèle de Bronsted, vu au troisième degré. Les difficultés des étudiants résident sur la compréhension du modèle acide-base (Dreshler & Van Driel, 2008) car ces derniers ont une faible compréhension du modèle particulière de la matière et de la manière dont ce modèle est relié à certains systèmes chimiques comme les molécules et les atomes (Nakhleh, 1994) ainsi que les ions (Ross & Munby, 1991 ; Nakhleh, 1994).

Se basant sur les résultats des travaux réalisés par Sumfleth (1987) et Geisler & Sumfleth (1999), Barke et al. (2009, pp 177) affirment que la connaissance à propos du modèle de Bronsted ne peut pas être transférée à des nouveaux contextes. Ces études ont montré que les étudiants acceptent la définition de Bronsted pour les acides mais les bases sont interprétées majoritairement selon le modèle d'Arrhenius.

Même après avoir appris le modèle de Bronsted, les étudiants ont éprouvé des difficultés à propos des acides ; ils adoptaient trois directions dans leurs réflexions considérant les acides comme des substances pures comme le HCl ; des solutions, comme acide chlorhydrique contenant les ions H^+ et Cl^- en solution aqueuse ou comme des particules à l'image des ions H_3O^+ (aq).

D'autres recherches ont focalisé leur attention sur d'autres concepts acide-base comme la neutralisation et le pH. Cros et al. (1986) notent que les étudiants de premier cycle universitaire tendaient à retenir une description qualitative du pH malgré le fait de l'avoir étudié en grande partie à travers ses aspects quantitatifs. Dans une étude complémentaire, Cros et ses collègues (1988) ont constaté que les étudiants avaient amélioré la signification des concepts d'acide et de base au cours de la période post-secondaire, par exemple en remplaçant une définition descriptive (pH inférieur à 7) par une définition scientifique pour l'acide (un acide libère les ions H^+) bien que nombreux étaient au plus bas du niveau de compréhension attendu.

Malgré cette volonté de ne retenir que les aspects qualitatifs du pH, poursuivait Nakhleh (1994), les étudiants en avaient une faible compréhension qualitative. De plus, l'étude effectuée par Sheppard (2006) aboutit à la conclusion que certains étudiants ne comprennent pas généralement que le pH est une mesure de concentration ; ils le considèrent comme une mesure de force et le représentent en fonction du volume par une droite.

Les difficultés sur la réaction acide-base peuvent également provenir du quotidien des élèves : de l'utilisation faite des produits chimiques et/ou du langage utilisé que nous retrouvons dans le langage chimique. C'est dans ce sens que dans leurs écrits, le suédois Schmidt (1991) et l'américain Sheppard (2006) nous révèlent que les étudiants présentent des difficultés à comprendre le concept « neutralisation ». La difficulté pour les Suédois est due à l'utilisation de neutralisation dans le langage courant : ils pensent que toute réaction de neutralisation conduit à une solution neutre même si un acide faible ou une base faible participe à la réaction (Cokelez, 2010). Les étudiants américains décrivent la neutralisation comme un simple mélange d'acide et de base sans interaction particulière dont la neutralité est déterminée par le nombre relatif des particules. Ils n'envisagent aucune interaction entre les particules et de plus, ils gardent la vision de déplacement de la réaction. Dans cette perspective, le produit de neutralisation continue à renfermer les particules acides qui n'ont pas réagi (Sheppard, 2006) ce qui correspond à la vision de déplacement de réaction évoquée par Schmidt (1991). Pour eux, les concepts de paires acide-base conjugués ou d'hydrolyse ne sont pas fonctionnels pour prédire le caractère acide-base de la solution (Cokelez, 2010). Ainsi, les étudiants présentent des difficultés à décrire le système chimique pour donner du sens à la réaction chimique suite à la faible compréhension du concept réaction chimique (Naija, 2004) et de celui de la nature particulière de la matière.

S'agissant de la courbe de titrage, Davous et ses collègues (2000), abordant la mesure en chimie dans la classe de première scientifique en France, relèvent certaines difficultés portant sur la détermination de la quantité de matière. Ils notent que les élèves ne perçoivent pas au cours d'un titrage, l'intérêt de mettre en œuvre une réaction chimique pour évaluer une quantité de matière. Certains élèves pensent que le système ne se transforme que lors de l'addition de la goutte de réactif titrant conduisant à une forte variation du pH ou de la coloration ; ils ne comprennent pas la notion d'équivalence...

Dans le même ordre d'idées, l'étude de Sheppard (op.cit) nous révèle des observations intéressantes. Considérant les trois zones d'une courbe montrant l'évolution du pH lors du dosage acide-base, les explications des étudiants sur la description des espèces réactionnelles lors du dosage d'une solution d'hydroxyde de sodium par une solution d'acide chlorhydrique sont résumées de la manière suivante :

- malgré des ajouts des quantités d'acide, le non changement significatif du pH est dû au fait que la réaction n'a pas encore commencé ; selon eux, si la réaction avait commencé, la coloration de l'indicateur changerait. Cela rejoint l'idée de Davous et al. (op.cit).
- le changement de coloration de l'indicateur aura lieu à pH 7 ;
- le niveau approximatif de la forme curviligne après l'équivalence est dû au fait que le nombre des particules acides est supérieur au nombre des particules basiques.

Ces explications nous prouvent que d'une part, les étudiants confondent le début avec la fin de la réaction et pensent que la réaction se termine juste quand elle a débuté. D'autre part, ils ne tiennent pas compte de la zone de virage de l'indicateur et focalisent leur attention sur le caractère (acide, base ou neutre) du milieu réactionnel au point d'équivalence.

L'étude menée par Naija (2004) prouve, quant à elle, que les difficultés des étudiants sur la courbe de dosage reposent essentiellement sur la compréhension de la réaction chimique. En effet, certains étudiants qui font des calculs au cours des travaux pratiques ne comprennent pas le système réactionnel mis en jeu au cours du dosage. Ils utilisent fréquemment la courbe de dosage dans leur raisonnement à cause de l'absence de la mise en relation entre les entités chimiques présentes en solution et la réaction acide-base, de la non compréhension de la réaction chimique à travers la représentation microscopique de la matière et ses propriétés rendant difficile à donner du sens à la réaction acide-base. De plus, poursuivant ses observations sur la comparaison des courbes de dosage, Naija (op.cit) constate que les étudiants, bien qu'ils mobilisent un lien entre la courbe et les observables, établissent une comparaison géométrique preuve supplémentaire qui indique l'absence de l'établissement de relation entre la représentation microscopique de la matière et ses propriétés macroscopiques.

Par ailleurs, d'autres études ont porté leur intérêt sur les équilibres acide-base. Nous ne retiendrons que trois études complémentaires qui nous semblent intéressantes, dont une effectuée par Griffiths (1994) et deux par Tsapalis et al. (2004a, b). L'étude menée par Griffiths (1994) a relevé une dizaine de conceptions des étudiants sur l'équilibre acide-base dont trois paraissent importantes, à savoir :

- du gaz hydrogène est produit en grande quantité par l'acide fort parce que l'acide fort contient plus de liaisons hydrogène que l'acide faible ;
- la neutralisation produit toujours une solution neutre ;
- comme le sel ne contient ni d'hydrogène ni de groupement hydroxyle, sa solution ne peut contenir les ions H^+ ou OH^- .

Poursuivant cette étude, Tsapalis et al. (2004a) relèvent, au moyen d'un questionnaire un certain nombre des conceptions des étudiants grecs sur les phénomènes de dissociation et d'ionisation, les substances amphotères, l'équilibre ionique et les espèces présentes en solutions aqueuses, la neutralisation d'un acide fort et d'un acide faible, le pH des solutions d'acide fort très diluées, équilibre des acides polyprotiques, l'effet et le comportement des solutions tampons, le changement du pH et le degré d'ionisation et l'effet d'un ion commun. En analysant les réponses fournies par les étudiants, les principales difficultés suivantes peuvent être évoquées :

- de la dissociation et de l'ionisation : les étudiants n'établissent pas de distinction entre la dissociation et l'ionisation ; l'ionisation semble être plus complexe et donc difficile à comprendre que la dissociation.
- des acides et des bases de Bronsted-Lowry : bien que la majorité des étudiants ait identifié correctement une espèce base ou acide qui n'est pas celle de Bronsted, nombreux sont ceux qui n'ont pas utilisé le modèle de Bronsted pour justifier ce choix ; 60% d'étudiants n'incluent pas l'eau dans les équilibres ioniques suite à l'enseignement reçu. Aussi la majorité a ignoré l'autoionisation de l'eau et la manière dont les acides diprotiques réagissent.
- équilibres ioniques : beaucoup d'étudiants ignorent systématiquement le rôle actif de l'eau en solution aqueuse ; l'atome d'hydrogène est confondu avec un proton ;
- la neutralisation : peu d'étudiants considèrent qu'un acide/base fort ou faible

exigerait plus de moles pour sa neutralisation qu'un acide/base faible ou fort ; sur le plan stœchiométrique, l'acidité d'une solution aqueuse résultante est mieux appréciée lorsqu'on est en présence de la neutralisation d'un acide fort et d'une base forte.

- équilibres et calculs du pH des acides polyprotiques : quelques étudiants ne savent pas comment des acides diprotiques agissent : ils utilisent séparément les équilibres des acides tels que H_2SO_3 et H_2CO_3 pourtant dans une même solution. Tsaparlis et ses collègues (2004b) attribuent cette compartimentation de deux équilibres à une conséquence du traitement mathématique/logique des équilibres et de la difficulté de la part des étudiants d'apprécier ce qui apparaît au niveau microscopique des molécules et des ions et de leurs interactions dynamiques ;
- l'effet de l'ion commun : les étudiants considèrent cet effet même dans des systèmes d'électrolytes forts ;
- effet de la température sur le pH : beaucoup d'étudiants éprouvent des difficultés à prévoir l'effet de la température sur le pH ;
- le pH : l'ignorance de l'auto-ionisation de l'eau ; la faible compréhension du logarithme et l'incapacité de calculer le pH d'une solution en utilisant la formule $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$.

D'autre part, les mêmes auteurs déterminent, à partir de cette étude, l'effet de deux variables psychomotrices importantes sur la performance des étudiants spécialement sur leurs conceptions, les difficultés qu'ils rencontrent, et leur capacité de résoudre des problèmes : le niveau de développement mental et le style cognitif. Ils rapportent après analyse les résultats suivants :

- effet du développement mental : la performance des étudiants formels est supérieure au reste de la performance des autres étudiants et dans beaucoup de cas cette supériorité est statistiquement significative. Le niveau du développement mental est lié aux concepts qui exigent la compréhension et l'application. L'effet le plus élevé a été observé pour les cas des questions conceptuelles. Pour les questions relatives aux calculs chimiques, l'effet n'a pas été significatif.
- effet du style cognitif : les étudiants à champs intermédiaire sont plus performants que les étudiants à champs dépendant. En effet, les questions relatives à la

stœchiométrie, aux espèces qui peuvent avoir un effet tampon, aux équilibres ioniques en solution aqueuse, à l'identification des couples acide-base... ont montré un effet important de style cognitif alors que seule la dissociation/ionisation n'a pas révélé d'effet.

- effet combiné du style cognitif et du développement mental : les deux variables ont joué un rôle important dans la performance des étudiants.

Dans ce travail, il a été prouvé qu'une faible performance du style cognitif et l'incapacité des étudiants à employer des opérations formelles jouent un rôle important.

Enfin, les solutions envisagées pour résoudre les difficultés des étudiants et faire évoluer leurs conceptions portent essentiellement sur des stratégies spécifiques d'enseignement à adopter et la réforme des programmes. Réaliser les travaux pratiques est l'une des meilleures voies préconisées par les scientifiques et les enseignants pour aider les élèves à comprendre la science. Généralement, on laisse la réalisation des travaux pratiques aux apprenants comme application de l'enseignement théorique. Ils peuvent les réaliser en autonomie ou en groupe. En groupe, les apprenants interagissent les uns avec les autres. Dans ce chapitre nous allons évaluer l'efficacité des travaux pratiques proposés aux élèves selon qu'ils sont en autonomie ou en interaction avec leur enseignant.

4.3. Approche méthodologique

4.3.1. Choix de la population des élèves

Notre enquête s'est déroulée dans dix écoles, toutes organisant des sections sciences fortes. Dans le tableau 25, on retrouve les effectifs des élèves par école et leur répartis selon le genre. Notre échantillon comprend 181 élèves âgés de 17 à 19 ans dont 77 filles et 104 garçons.

Tableau 25. Répartition de la population d'élèves par école

Ecoles	Garçons	Filles	Total
Ecole 1	8	14	22
Ecole 2	8	8	16
Ecole 3	0	14	14
Ecole 4	12	7	19
Ecole 5	18	4	22
Ecole 6	10	2	12
Ecole 7	12	8	20
Ecole 8	0	9	9
Ecole 9	11	7	18
Ecole 10	25	4	29

L'ensemble de ces élèves fréquentent la dernière année de la section scientifique, option biologie chimie ou nutrition. Par semaine, les élèves suivent 4 à 5 heures de chimie, 6 heures de mathématiques, 3 à 4 heures de physique, 4 heures de biologie, 4 heures d'anglais et 6 à 8 heures de français. Les autres heures de cours sont la géographie, l'histoire, la philosophie, le civisme, l'éducation physique assurés pendant une ou deux heures la semaine. Le programme prévoit des travaux de laboratoire après enseignement théorique pendant une durée de 100 minutes tous les quinze jours ouvrables soit après avoir suivi 8 à 10 heures tout au plus de cours.

Nous avons choisi de travailler avec ce groupe d'élèves pour les raisons suivantes :

- la chimie est un cours à option (ils le suivent pendant tout le cycle secondaire pendant plusieurs heures) ;
- suivant tout le programme de chimie, ils pourraient nous donner des idées précises sur la manière dont il est assimilé...
- aussi la plupart de ces élèves suivent soit des sciences fortes soit des sciences de l'ingénieur à l'université...

4.3.2. Détermination des styles d'apprentissage

Nous avons cherché à savoir le style de chaque étudiant en les soumettant à un test basé sur l'apprentissage expérientiel. Ce test inspiré de l'apprentissage expérientiel de Kolb (1984) a déjà été expérimenté et validé par un groupe de chercheurs à l'université de Liège (Cahay, Therer, 1998). Il comprend 12 situations qu'on rencontre aussi bien dans le monde scolaire que dans la vie courante. Les occurrences décrivent des comportements ou des attitudes qu'adopte un individu pour apporter la solution à un problème (situation).

Nous présentons ici les résultats relatifs à ces styles d'apprentissage. Les détails sur le contenu du questionnaire se rapportant à ce test ainsi que le traitement des données recueillies se trouvent dans la partie annexe de ce travail (annexe 11).

Sur la figure 23, la bulle indique le style auquel appartient l'élève alors que la taille de la bulle représente le nombre d'élèves ayant présenté ce style. Comme on peut s'en rendre compte, la population est répartie relativement de manière équitable de part et d'autre des axes en s'en approchant davantage. Par rapport aux régions, le méthodique pragmatique est la région la moins peuplée alors que le méthodique réflexif est la plus peuplée. Le dénombrement des fréquences nous indique que dans notre échantillon 30,4% des élèves sont méthodiques réflexifs; 22,1% des intuitifs-pragmatiques; 20,4% des intuitifs réflexifs et 18,2% des méthodiques pragmatiques. 8,9% présentent des styles intermédiaires entre deux styles préférentiels et un élève a le style qui se trouve entre tous les styles d'apprentissage.

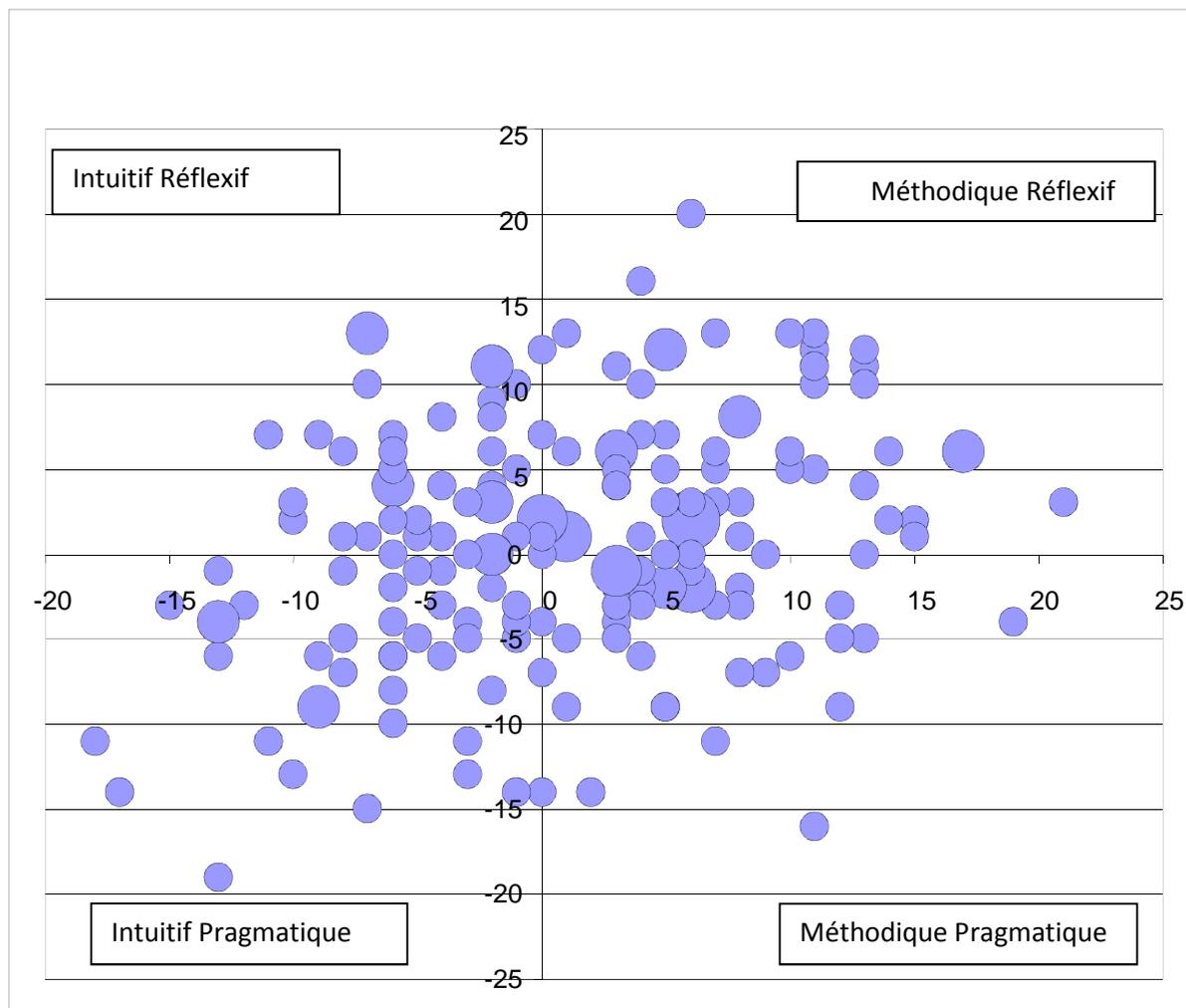


Figure 23. Styles d'apprentissage des élèves

4.3.3. Etalonnage des instruments de mesure

Nous avons adressé aux élèves belges fréquentant la dernière année secondaire supérieure en sciences fortes un questionnaire portant sur la connaissance des concepts d'acidité (annexe 12). Pretesté aux élèves belges, ce questionnaire est un test à blanc. Il a été administré aux élèves congolais dans le but de recueillir leurs conceptions sur la notion d'acidité. A ce stade, les données recueillies servent à étalonner les instruments de mesure, différentes formes de questions, que nous allons utiliser dans notre recherche. Les conclusions importantes qui sont tirées de cette enquête concernent la performance relative face à des questions à choix multiple ou à des questions ouvertes et une éventuelle différence entre le comportement des filles et des garçons. Les conclusions de cette enquête sont applicables à la situation du Congo d'autant plus qu'une étude précédente réalisée par Mano, Dramaix & Villers (2007) a montré que les élèves belges et congolais avaient des

connaissances et des compétences comparables sur des questions qui portent sur les réactions chimiques.

Les écoles qui ont participé à ce test sont organisées ou subventionnées par la Communauté française de Belgique en Province de Hainaut (ayant comme pouvoirs organisateurs, la communauté française, la province ou le réseau libre catholique). Le pré-test s'est déroulé dans 14 classes dont l'effectif total s'élève à 283 individus comprenant 138 filles et 145 garçons.

Ce questionnaire est conçu sous deux formes : la forme A, des questions à choix multiples et la forme B, des questions ouvertes. Il est demandé à l'élève de proposer la définition qui conviendrait le mieux à chaque concept proposé. Les assertions proposées à la forme A sont des conceptions des élèves fournies par la littérature ainsi que celles des congolais recueillies il y a trois ans. Chaque classe participante sera divisée en deux groupes sur base de la liste alphabétique des élèves en alternant les affectations aux groupes A et B. Le professeur remettra à chaque élève une seule forme des questions selon son groupe d'appartenance, en indiquant un code pour la classe et un code pour l'élève. L'élève fille ou garçon entourera le genre correspondant sur la feuille. Le questionnaire est soumis à un moment où les élèves ont vu ou revu les notions utiles sur les acides et les bases. L'élève devra remettre le questionnaire dans un temps maximum de dix minutes.

Pour traiter les données, nous exploiterons le test t de Student. Ce test basé sur la comparaison de deux moyennes des échantillons indépendants va nous permettre de vérifier si la forme du questionnaire est une variable importante qui influence de manière significative la réussite des étudiants. Il va également nous permettre de savoir le comportement des participants selon la variable genre en comparant ainsi les moyennes obtenues par les garçons et les filles pour chacun de trois concepts (acide, base, réaction acide-base). Les principaux résultats relatifs à ce test sont repris ci-dessous. Pour plus de détails, on peut se référer au travail publié par Mano & Villers (2011) à l'annexe 13.

a. Résultats selon le genre

Les résultats obtenus indiquent des faibles écarts entre les résultats des filles par rapport à ceux des garçons aux deux formes des questions A et B ainsi que des faibles cotes des garçons par rapport à celles des filles à la forme B. Aussi les résultats des garçons sont relativement élevés à la forme A spécialement pour les concepts : acide et base. Une

analyse statistique a été effectuée pour savoir si ces écarts observés dans les résultats sont significatifs. De ce fait, pour tous les concepts, les valeurs de seuil de signification p sont supérieures à 0.05. La différence des moyennes de réussites selon le genre n'est donc pas significative. Les garçons et les filles se comportent de la manière au test.

b. Résultats selon la forme de la question

La réussite considérée est celle qui se rapporte à la conception de Bronsted. Ainsi les résultats nous permettent de tirer les observations suivantes :

- augmentation de l'écart apparent entre les réussites de la forme A à la forme B lorsqu'on passe de l'acide à la base ou à la réaction acide-base ;
- la base semble être la mieux connue par les élèves sous la conception Bronsted ; la connaissance des concepts acide et base sous la forme B est relativement identique.
- performance relativement bonne à la forme A par rapport à la forme B lorsqu'on considère individuellement la connaissance du concept : l'élève semble avoir des difficultés à produire une réponse rédigée par rapport au choix d'un QCM. Cependant cette légère tendance disparaît lorsqu'on considère la connaissance globale de ces trois concepts.

Ainsi ces résultats indiquent que la forme A est relativement plus facile que la forme B.

D'un point de vue strictement statistique, le traitement des résultats selon les formes fournit des valeurs de seuil de signification (p) supérieures à 0.05 ce qui indique que les différences observées entre les moyennes de réussite aux deux formes ne sont pas significatives. Elles peuvent donc être utilisées de manière équivalente pour évaluer les étudiants.

4.3.4. Catégories des questions et tests soumis aux élèves congolais

Trois tests ont été soumis à 181 élèves congolais, finalistes du secondaire en sciences fortes. Le but de ces tests est d'une part, d'établir les conceptions ainsi que les difficultés des élèves sur la réaction acide-base et d'autre part, de déterminer l'influence des travaux pratiques et de l'interaction professeur – élève sur ces conceptions.

En nous inspirant des méthodologies suivies par Ayhan (2004), Méheut (1982 & 1989) et Naija (2004), nous avons parcouru les étapes suivantes pour mettre sur pied les différents tests administrés aux élèves :

1° nous avons d'abord soumis des tests à questions ouvertes aux élèves de la quatrième et de la sixième année secondaire sciences fortes au cours de l'année scolaire 2005-2006. Ces questions portaient sur les concepts de la réaction chimique. Les questions adressées aux élèves congolais en dernière année du secondaire ont été soumises également aux élèves belges du même niveau pour établir le niveau d'acquisition des connaissances et essayer de comprendre l'état actuel de l'enseignement de la chimie en République Démocratique du Congo. Les résultats obtenus ont été publiés dans le bulletin de l'ABPPC (Mano, Dramaix & Villers, 2007). Les résultats de la recherche menée auprès des élèves de la quatrième année sont soumis pour publication (voir annexe 2).

2° nous inspirant du programme officiel de chimie au Congo, des résultats obtenus à ces tests préliminaires et des informations fournies par la littérature sur la réaction acide-base, nous avons construit des questionnaires à questions ouvertes. Ces questionnaires ont été soumis pendant deux années scolaires (2006 - 2007 et 2007 - 2008) pour relever les conceptions et les difficultés que manifestent les élèves à la fin des études secondaires par rapport aux concepts de base. Les réponses à ces questions ont constitué, une banque des données.

3° nous avons alors procédé à la construction d'un questionnaire reprenant les conceptions des élèves sur les concepts de base sur la réaction acide-base. Ce questionnaire couvre l'essentiel de la matière prévue au programme de chimie en République démocratique du Congo sur ce point précis. Il est composé de deux formes de questions : les questions ouvertes et les questions à choix multiples (qcm). Les assertions proposées aux items des questions à choix multiple sont les réponses que les élèves ont fournies aux tests préliminaires. Ce questionnaire ne prend en compte que deux modèles classiques, Arrhenius et Bronsted, au vu des résultats obtenus aux tests préliminaires confirmant que les élèves ne connaissaient pas le modèle de Lewis.

4° une fois le questionnaire construit, nous l'avons soumis à des spécialistes de l'enseignement secondaire et universitaire afin de juger de la formulation des questions, de leur difficulté ou facilité et de vérifier si la réponse correcte était clairement identifiable dans l'item. Compte tenu des remarques et suggestions formulées, nous avons apporté des légères modifications. Cependant étant donné les étapes à suivre pour tester les variables et atteindre les objectifs visés dans notre recherche, le questionnaire a été subdivisé en trois tests. Le premier test comprend deux questions ouvertes. Le second test est composé de 13

questions à choix multiples (avec justification pour sept questions). Le troisième test comprend sept questions dont cinq questions à choix multiples avec justificatif pour chaque question et deux questions ouvertes.

Au cours de notre étude, nous cherchons à vérifier si les élèves se sont appropriés la réaction acide-base selon le modèle de Bronsted. Pour ce modèle, il faut considérer deux étapes importantes : 1° la libération du proton, le transfert du proton 2° la formation du couple acide-base conjugué. La réaction acide-base étant un transfert de proton entre deux couples acide-base conjugués (Barke et al. 2009 ; Pirson et al. 2004).

Compte tenu du type de compétence envisagée, des objectifs à atteindre et des éléments qui constituent la matière à apprendre sur la réaction acide-base, nous avons subdivisé les tests en différentes catégories.

La définition des catégories est basée sur le sens du contenu des questions et des objectifs visés par notre recherche. L'appropriation de la réaction acide-base passe chaque fois par trois niveaux de compréhension formant diverses catégories : niveau 1 la connaissance des concepts comprenant la définition des concepts et l'identification des exemples y relatifs, le niveau 2 relatif à l'acidité d'une solution, à la force d'un acide et aux équilibres acido-basiques qui vise la compréhension qualitative ainsi que le niveau 3 relatif au dosage acido-basique et le pH des solutions nommé la compréhension quantitative de la réaction acide-base.

- Le test 1 (annexe 14): l'objectif de ce test 1 est de révéler les conceptions initiales des élèves sur les concepts : réaction chimique, acide, base et réaction acide-base. Il s'agira particulièrement d'établir la connaissance de ces concepts par les élèves, préalable aux différents types de compréhension.
- Le test 2 (annexe 15) : les questions sont regroupées en trois catégories selon le type de compréhension requise pour l'élève à savoir : la connaissance des concepts (définition des concepts), la compréhension qualitative (questions relatives à la variation de l'acidité d'une solution & à la force d'un acide) et la compréhension quantitative comprenant les questions portant sur le pH d'une solution.
- Le test 3 (annexe 16) comprend également trois catégories : la connaissance des concepts (identification des acides et des bases de Bronsted), la compréhension

qualitative (le couple acide-base conjugué dans les solutions tampons et les équilibres ioniques acide-base) et la compréhension quantitative (réaction de neutralisation). Les tests 2 et 3 visent essentiellement à déterminer l'influence des travaux pratiques et celle de l'interaction professeur – élève au cours de ces travaux sur l'acquisition de la connaissance de la réaction acide-base selon le modèle de Bronsted.

4.3.5. Situation d'enseignement : réalisation des travaux pratiques

Au moment de l'administration des tests, les élèves avaient déjà suivi toutes les leçons relatives à la notion d'acidité prévue au programme de chimie. Nous avons consacré une demi-heure d'entretien avec le titulaire du cours quelques jours avant la passation des manipulations. Notre entretien portait sur les manipulations à faire selon le programme officiel, les objectifs que vise notre recherche et les tests à réaliser (nous les avons mis au courant que les élèves seraient évalués avant et après les travaux et avons sollicité un rendez-vous pour faire passer ces tests). Les enseignants et les directions d'écoles ont accueilli positivement les travaux pratiques que nous leur avons proposés [Une autre demi-heure a été consacrée à l'interview pour avoir une idée précise sur l'expérience pratique de l'enseignant. Les données y relatives sont présentées dans la partie enseignant].

Pour réaliser les travaux pratiques, nous avons fourni du matériel et des produits aux écoles. A la fin des manipulations, nous récupérons chaque fois ces matériels afin d'éviter des pertes éventuelles et faciliter la réalisation des travaux dans d'autres écoles. Au cours des travaux pratiques, les élèves étaient très motivés et curieux d'apprendre à faire de la pratique, une chance unique qui arrive à la fin de leur scolarité. Rappelons que tous les élèves avaient déjà suivi l'enseignement théorique sans faire de travail pratique au moment où nous avons lancé notre enquête.

4.3.6. Déroulement des tests et récolte des données

Les élèves étant répartis en deux groupes, un groupe réalisant le travail pratique en autonomie et un autre groupe réalisant le travail pratique en interagissant avec le professeur.

La figure suivante reprend de manière schématique la procédure d'administration des tests 1, 2 et 3.

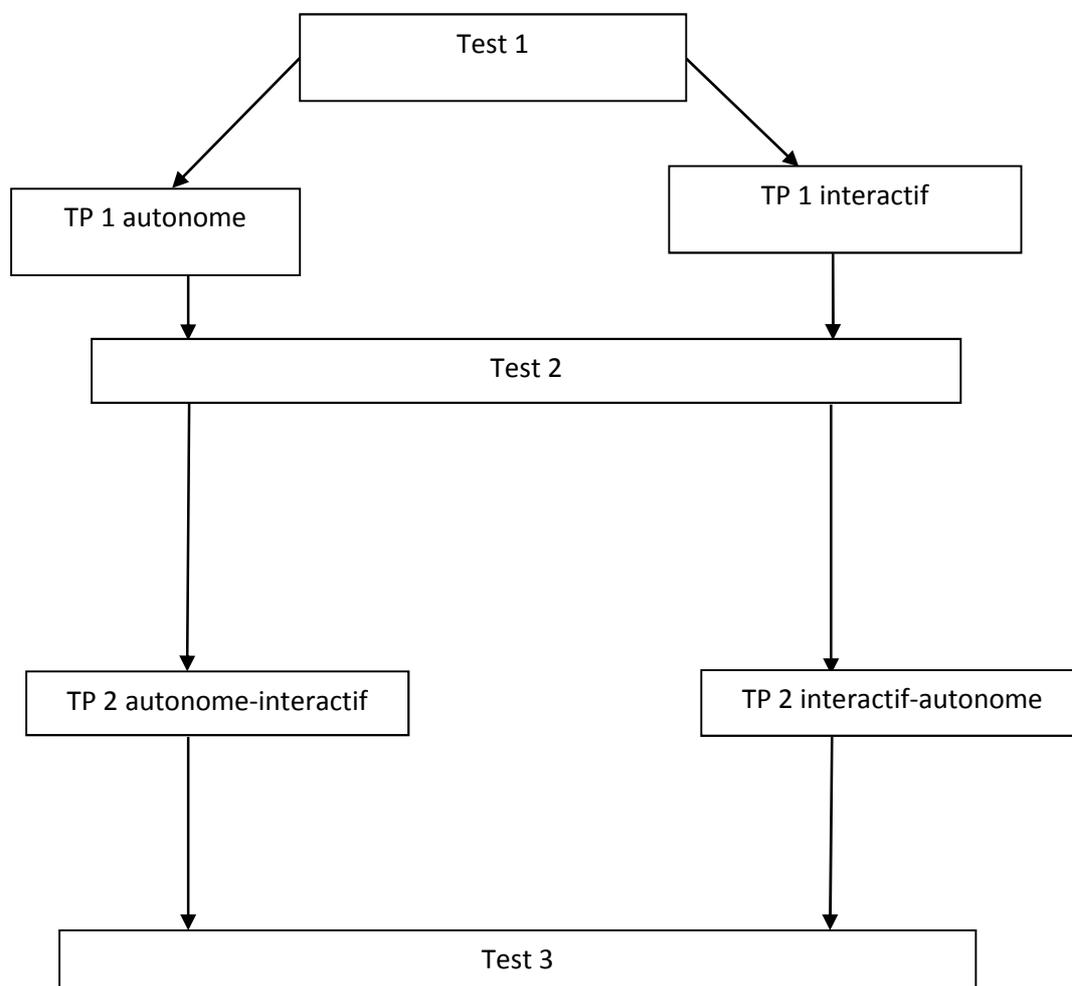


Figure 24. Schéma descriptif de la procédure de réalisation des tests selon le groupe de TP

Pour réaliser les tests, nous avons procédé comme suit :

- faire passer le test 0 aux élèves pour établir leurs styles d'apprentissage;
- faire passer le test 1 à tous les élèves de la classe ;
- former des groupes hétérogènes des travaux pratiques, groupe A et groupe B : placer dans chaque groupe un élève de manière à ce que les quatre styles soient représentés ; le groupe A avec premier travail pratique TP 1 dirigé formant le groupe interactif et groupe B avec un TP1 non dirigé formant le groupe autonome.
- faire passer le test 2 pour évaluer l'acquisition de la conception de Bronsted de l'acide, de la base et la réaction acide – base ;

- réaliser le second travail pratique TP 2 en changeant de procédure : le groupe A avec TP 2 non dirigé formant le groupe interactif-autonome et le groupe B avec TP2 dirigé formant le groupe autonome-interactif.
- procéder au test 3 pour évaluer la conception de Bronsted de l'acide, de la base et la réaction acide – base.

La durée de chaque test a été déterminée grâce aux tests préliminaires réalisés : premier test (10 minutes), second test (30 minutes), troisième test (30 minutes) soit 70 minutes au total. Chaque séance de travaux a duré 100 minutes et chaque professeur a pris la responsabilité d'interagir avec ses élèves. Nous avons assisté de manière passive à toutes ces séances de travail pratique pour vérifier que leur réalisation était effective. Ici le groupe interactif-autonome est le groupe d'élèves qui a été dirigé au TP1 mais non dirigé au TP2. Le groupe autonome-interactif est celui qui a été autonome au TP1 mais dirigé au TP2.

4.3.7. Analyse et traitement des données recueillies

Les données analysées se rapportent aux enseignants et à leurs élèves. Pour les analyser, nous avons recouru principalement à l'analyse de contenu et à l'analyse statistique.

L'analyse statistique des réponses des élèves se fait en fonction des variables indépendantes, la manipulation au laboratoire et l'interaction avec le professeur. Nous avons déterminé à la fois la fréquence des élèves ayant réussi à la question posée en analysant la justification fournie par l'interrogé.

Les fréquences simples et les justificatifs fournis par les élèves nous ont permis d'établir le niveau d'acquisition de la connaissance sur la réaction acide-base. Nous avons établi les performances aux tests en attribuant la cote « cinq » à la bonne réponse ou le bon justificatif et la cote « zéro » lorsque la réponse (et donc la justification) était jugée fausse. Aucune cote intermédiaire n'était admise.

Nous avons également relevé les progrès réalisés et révélé les différentes difficultés qui subsistent après les travaux pratiques. Nous avons déterminé les corrélations entre les différentes catégories des réponses et leur signification pour essayer de comprendre la manière dont elles sont interconnectées et donc comprises par les élèves. Enfin, nous avons exploité les statistiques F et t de Student pour comparer les variances et les moyennes et tester nos variables.

Nous avons particulièrement comparé la compréhension des propriétés qualitatives relatives à la réaction acide-base avant et après les travaux pratiques (test1 et test 2, trois premières questions sont concernées) en mettant en exergue le partitionnement des fréquences selon les concepts acquis et en établissant la croissance normalisée réalisée au moyen de la formule de Hake (Mayer, 2011, p 114) pour établir l'écart entre le prétest et le post-test. La statistique a été mise en œuvre grâce au logiciel SPSS version 14.0.

4.4. Résultats relatifs aux conceptions et aux difficultés des élèves

Les élèves ont d'abord suivi l'enseignement théorique. Ensuite ils ont réalisé deux séances de travaux pratiques. Dans cette partie, nous présentons les résultats relatifs aux capacités/conceptions des élèves et leurs difficultés d'apprentissage, obtenus à l'issue de trois étapes : l'enseignement théorique, le TP1 et le TP2. Les différents résultats sont présentés dans des tableaux et sur des figures. Ils sont accompagnés des commentaires et des discussions. Ces résultats sont comparés pour un même test selon la variable interaction professeur-élèves et d'un test à l'autre selon la variable travail pratique et la variable interaction. Ces résultats mettent en exergue, outre les capacités et les difficultés des élèves, des progrès réalisés par les élèves grâce à la réalisation des travaux pratiques et à l'interaction professeur-élèves. Plus loin, ils sont mis en relation avec la connaissance professionnelle des enseignants sur la réaction acide-base.

4.4.1. Difficultés et conceptions après enseignement théorique

Dans cette section, nous discutons les résultats relatifs aux conceptions initiales des élèves, c'est-à-dire les conceptions acquises après avoir suivi l'enseignement théorique sur les concepts « réaction chimique, acide, base, réaction acide – base »

a. ... sur le concept de réaction chimique

Avant de réaliser les travaux pratiques, le test 1 relève que près de 55,3% des réponses fournies par les élèves au sujet de la réaction chimique sont correctes. Douze concepts sont principalement employés par ordre de fréquence décroissante tel qu'on peut le lire sur la figure 25 : la transformation (30,7%), la réaction (26%), la combinaison (12,7%), le mélange (10,5%), le phénomène chimique (7,7%), le réarrangement (3,9%), le corps ou le produit (2,8%), le phénomène physique (1,7%), la force d'attraction (1,7%), le procédé (1,1%), la liaison (0,6%) et l'équation chimique (0,6%).

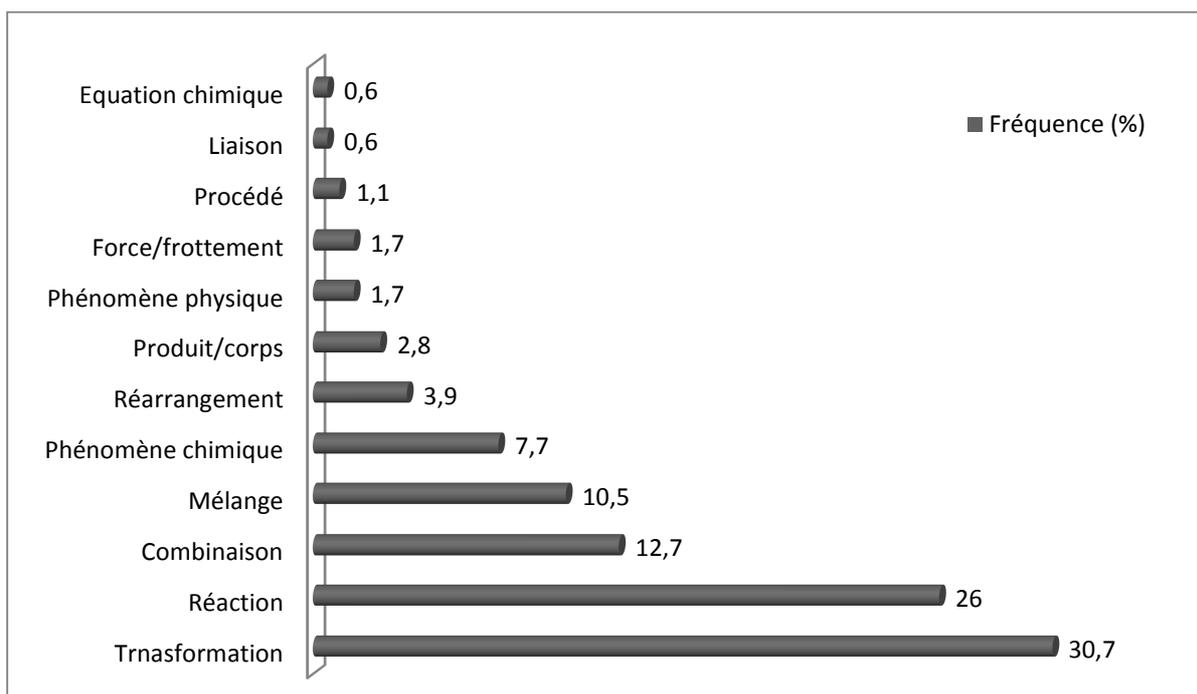


Figure 25. Concepts évoqués par les élèves et leurs fréquences à propos de la réaction chimique

Ceux qui ont proposé la bonne définition ont adopté principalement les concepts suivants : la transformation, la combinaison, le réarrangement et le phénomène chimique ; des concepts se rapportant au changement profond de la matière, c'est-à-dire à la réaction chimique proprement dite.

Seulement 26% des élèves ont défini la réaction chimique en passant par le concept de réaction, se bornant à expliquer le qualificatif « chimique » qui, malheureusement, ne collait pas avec la situation observée dans le cas des phénomènes/réactions chimiques. Les autres concepts empruntés sont relatifs au phénomène physique, à l'aspect corpusculaire de la matière ou à la manifestation sur le plan macroscopique des phénomènes observés.

En outre, certains élèves ont associé deux concepts pour définir la réaction chimique. C'est le cas des concepts (la fréquence d'association est indiquée entre parenthèses) : transformation et mélange (1), combinaison et réarrangement (2), transformation et réaction (2), combinaison et mélange (1), phénomène chimique et réaction (1), phénomène chimique et événement (1), transformation et événement (1), transformation et phénomène chimique (1). Le concept transformation a paru ainsi plus facile à associer avec d'autres. Plusieurs autres concepts relatifs à la matière ont été utilisés par les élèves.

D'autre part, l'analyse des réponses fournies par les élèves montre qu'ils se réfèrent à quatre niveaux différents pour décrire le phénomène observé indiquant leur degré de compréhension de la réaction chimique (Méheut, 1982 ; Ouertatani et al., 2006) ainsi que les étapes poursuivies par l'élève pour tenter de construire ce savoir (Solomonidou & Stravridou, 1998).

1° types d'interaction ou de réaction :

- la réaction redox, mouvement des électrons d'un atome vers un autre : « ... *libération ou acquisition d'un électron,... intervention des oxydants et des réducteurs... une montée ou une descente d'étage d'oxydation...* »
- la réaction de décomposition : « ... *décomposition des composés ou de la substance...substance décomposée par une base, un acide ou un sel....* »
- la réaction de neutralisation : « *neutralisation d'un acide par une base....* »
- l'interaction ionique : « ... *faire réagir un ion avec un autre, subir l'ionisation, combinaison des ions positifs et des ions négatifs...* »
- la réaction de synthèse : « ... *deux composés s'unissent pour donner de l'eau..., réaction entre deux atomes/molécules pour former un composé, ... addition de deux composés pour former de l'eau....* »

2° milieu réactionnel

La réaction chimique se déroule :

- dans l'air : « ... *en contact avec de l'air...* »
- dans l'eau : « ... *milieu aqueux homogène, solution aqueuse,...* »
- en présence d'une base, d'un acide ou d'un sel

3° types d'espèces qui interagissent :

Il s'agit des espèces microscopiques ou macroscopiques :

- éléments, atomes, ions, électrons, molécule, ... représentant le niveau particulaire (le plus évoqué par les élèves) ;
- substance, corps, composés, réactifs et produits, matière, soluté et solvant, acide, base et sel, ... correspondant au niveau phénoménologique (macroscopique).

Si on considère les types d'espèces chimiques évoquées pour décrire le changement subi au cours de la réaction chimique, les élèves sont passés dans leurs explications d'un niveau à un autre : pour certains, les atomes se combinent pour former des molécules tandis que pour les autres, il s'agit d'une combinaison entre atomes, molécules pour conduire aux corps ou aux substances, composés, ... bref au phénomène (sous-entendu visibles à l'œil). Pour les premiers, il s'agit du passage entre deux niveaux particuliers (atomes à molécules) et pour les seconds, la réaction a lieu au niveau particulaire et manifeste ses effets au niveau macroscopique (phénoménologique).

4° Equation chimique : certains élèves envisagent qu'au cours de la réaction chimique, la matière passe d'une situation 1, des réactifs, à une situation 2, des produits par transformation : " ... *des réactifs aux produits, des substances aux propriétés différentes à des substances aux propriétés nouvelles,.... la réaction chimique est une équation chimique...* " avec l'idée principale d'irréversibilité.

Dans le tableau 26 nous présentons les différentes conceptions alternatives sur la réaction chimique et leurs fréquences respectives par ordre croissant.

Tableau 26. Quelques conceptions alternatives des élèves sur la réaction chimique

Une réaction chimique est :	Fréquence	%
- un mélange décomposé par une base, un acide ou un sel	1	0,6
- un mélange des matières différentes pour voir ce qui va arriver	1	0,6
- une union des molécules pour obtenir des produits	1	0,6
- une force d'attraction, qui unit deux éléments	2	1,1
- une force de transformation	2	1,1
- un mélange de solvant et de soluté (solution)	2	1,1
- un mélange évoluant vers une transformation	2	1,1
- une force de frottement	2	1,1
- une réaction qui consiste à attirer un atome	2	1,1
- une interaction basée sur la méthode chimique en milieu acide, base ou neutre	2	1,1
- un mélange des oxydants et des réducteurs	2	1,1
- un ensemble des substances chimiques formant un solide	2	1,1
- une réaction qui se déroule entre substances différentes	2	1,1
- une réaction entre réactifs pour obtenir des produits	2	1,1
- un mélange capable de subir l'ionisation	2	1,1
- une réaction qui sert à la décomposition de la matière	3	1,7
- une addition de deux composés pour obtenir de l'eau	3	1,7
- une combinaison des atomes de carbone	4	2,2
- une combinaison des ions positifs et négatifs	6	3,3
- une réaction qui consiste à libérer et à gagner des électrons; réaction entre oxydant et réducteur	10	5,5
- une réaction entre deux ou trois substances	13	7,2
- un mélange des corps, des éléments, des atomes,...	15	8,3

b. ... sur les concepts : acide, base et réaction acide-base

La figure 26 indique les fréquences des conceptions initiales des élèves sur les concepts d'acide et de base. Elle indique une forte proportion en conceptions d'Arrhenius et en conceptions alternatives. En effet, le programme officiel insiste, dans l'étude de la chimie acide-base, seulement sur les hydroxydes comme bases et les hydracides et oxacides comme acides. Ces composés correspondent bien à la conception d'Arrhenius. Les ouvrages disponibles et à la disposition de l'enseignant abondent d'exemples aussi bien courants que de laboratoire.

Nous pouvons également lire sur cette figure que la fréquence en acide selon la conception de Bronsted est supérieure à celle de la base. En revanche, la proportion en conception

acide est supérieure à celle de la base en conception d'Arrhenius. Celle-ci étant d'ailleurs la plus élevée de toutes les autres conceptions. Ainsi les bases sont mieux connues par les élèves sous la conception d'Arrhenius que leurs antagonistes acides. Ces derniers étant relativement plus connus sous la conception de Bronsted et sous les autres conceptions.

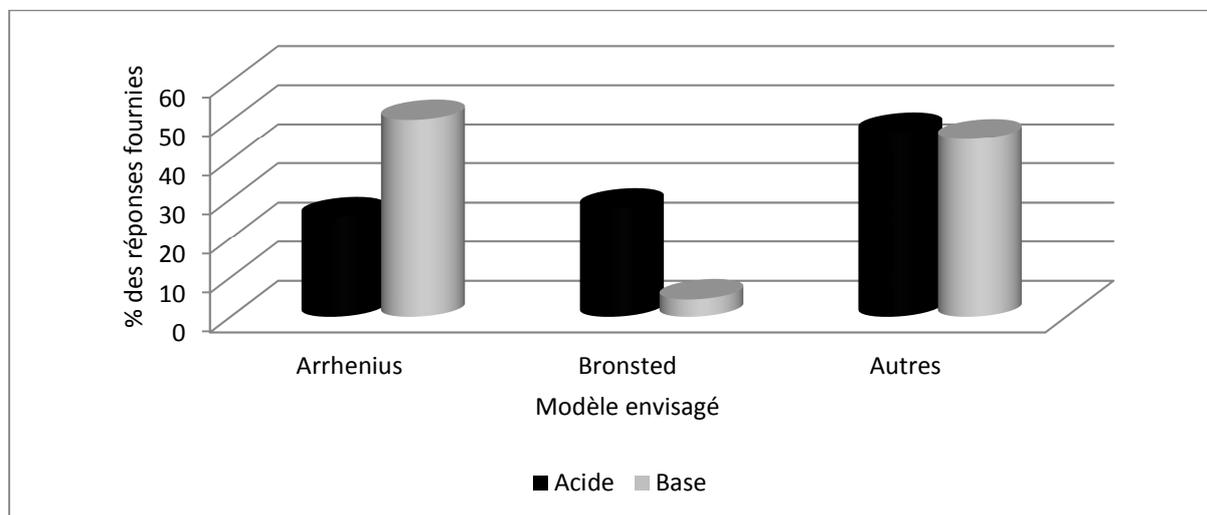


Figure 26. Fréquences des conceptions initiales des élèves sur les concepts, acide et base Comparée aux autres types de conceptions, la conception de Bronsted est moins représentée. Elle est très faible pour la base. En outre la proportion en d'autres conceptions (conceptions alternatives) comme l'indiquent à la fois la figure 26 et les tableaux 27 et 28 s'avère plus importante pour les deux concepts.

Le tableau suivant présente les conceptions alternatives et leurs fréquences pour le concept d'acide :

Tableau 27. Quelques conceptions alternatives des élèves sur l'acide

Un acide est :	fréquence	%
- Un résultat de plusieurs matières, composé de l'hydrogène et de l'oxygène	1	0,6
- Un composé qui dégage de l'hydrogène	1	0,6
- une solution solide	1	0,6
- un organe chimique capable de recevoir un produit	1	0,6
- une substance servant à la décomposition ou à la construction d'une autre	2	1,1
- un catalyseur qui ne participe à la réaction	2	1,1
- une transformation de la matière	3	1,7
- une substance utilisée pour préparer une réaction quelconque	3	1,7
- un produit qui manifeste une grande résistance lors de la transformation	3	1,7
- un individu chimique positif capable de libérer des ions positifs	3	1,7
- un liquide puissant capable de fondre le fer	4	2,2
- tout ce qui a un goût piquant et nuisible à l'homme	4	2,2
- un résultat de la réaction de l'hydrogène, de l'oxygène et d'un métal	4	2,2
- une substance chimique	4	2,2
- un changement profond de la matière	4	2,2
- une matière capable de dissoudre certains corps	5	2,8
- une substance capable de céder des électrons	5	2,8
- un composé d'éléments non métalliques et de l'hydrogène	7	3,9
- une substance dont le pH est inférieur à 7	12	6,6
- autres fausses réponses	17	9,4

Ce qui revient le plus chez les élèves pour l'acide, ce sont des fausses définitions qui n'ont rien à voir avec le concept d'acide. Cependant quelques définitions montrant une idée sur l'acide sont évoquées. Il s'agit de : définitions descriptives ayant trait à la mesure du pH ou de l'acidité ou l'ancienne conception, celle évoquant les propriétés organoleptiques ou la réactivité de l'acide au cours d'une réaction ou face à d'autres corps. Les fausses réponses sont les autres conceptions complètement éloignées du sens voire de la compréhension du concept d'acide.

Tableau 28. Quelques conceptions alternatives des élèves sur la base

Une base est :	Fréquence	%
- toute espèce chimique capable de libérer un ion	1	0,6
- un composé dont le rôle est de refroidir quelques produits de laboratoire	1	0,6
- toute substance qui décompose la matière en acide	1	0,6
- un mélange d'acide et de l'hydrogène	1	0,6
- un composé des métaux qui intervient avec les acides	1	0,6
- un atome qui intervient dans l'obtention d'une composante	1	0,6
- une réaction qui se passe en milieu acide	1	0,6
- une transformation de la matière	1	0,6
- une substance composée d'un acide et d'un non métal	1	0,6
- une substance physique	1	0,6
- un composé formé du sel et de l'eau	2	1,1
- un catalyseur qui provoque des réactions sans y participer	2	1,1
- une décomposition de la matière	2	1,1
- une cathode capable de libérer des ions négatifs	3	1,7
- une réaction entre un acide et un non- métal	3	1,7
- une solution des non –métaux	3	1,7
- une réaction chimique de l'oxyde	3	1,7
- un accepteur des anions	4	2,2
- tout composé contenant les éléments Oxygène, Carbone et Hydrogène	5	2,8
- une combinaison entre un acide gras et du sel	5	2,8
- toute substance capable de capter des électrons	7	3,9
- un acide azoté contenant trois éléments : azote et hydrogène	8	4,4
- une substance dont le pH est supérieure à 7	12	6,6
- autres fausses réponses	13	7,2

Comme l'indique le tableau 28 ce qui revient chez les élèves pour la base, c'est également des conceptions qui montrent qu'ils ignorent complètement la base. On peut noter également des conceptions ayant trait à la même compréhension de l'acidité (la mesure du pH et du pOH) ainsi que la composition de la base et sa réactivité.

La part élevée en conceptions alternatives témoigne que les élèves ne se sont appropriés ni la conception d'Arrhenius, ni celle Bronsted et encore moins celle de Lewis qui n'apparaît pas comme telle parmi les réponses proposées. Néanmoins, parmi les réponses évoquées, 4,4% des élèves citent les acides aminés parmi les bases : une idée tirée de leur cours de biologie. En effet, en biologie, une étude est prévue sur les acides aminés et les protéines. Il est probable que l'enseignant de biologie ait expliqué à ses élèves des propriétés basiques de ces acides sont dues au doublet électronique sur l'azote.

A ce stade, deux raisons seraient à l'origine du non appropriation par les élèves de la conception de Bronsted. Il s'agit probablement de l'enseignement théorique reçu (sa qualité,

son abondance, la manière de le transmettre,...) et de l'absence de travaux pratiques, applications pratiques des notions théoriques.

Si nous revenons sur la compréhension des propriétés de l'acidité, nous pouvons suggérer que les travaux pratiques relatifs au pH des sels hydrolysables soient une occasion de montrer le caractère acide ou basique d'une substance qui ne contient pas, au départ, de l'hydrogène ou le groupe hydroxyde et contribuerait à étayer davantage l'enseignement théorique reçu en faisant ainsi émerger sur le plan pratique la conception de Bronsted.

D'autre part, sur la figure suivante, nous pouvons lire les fréquences des conceptions des élèves sur le concept de réaction acide – base.

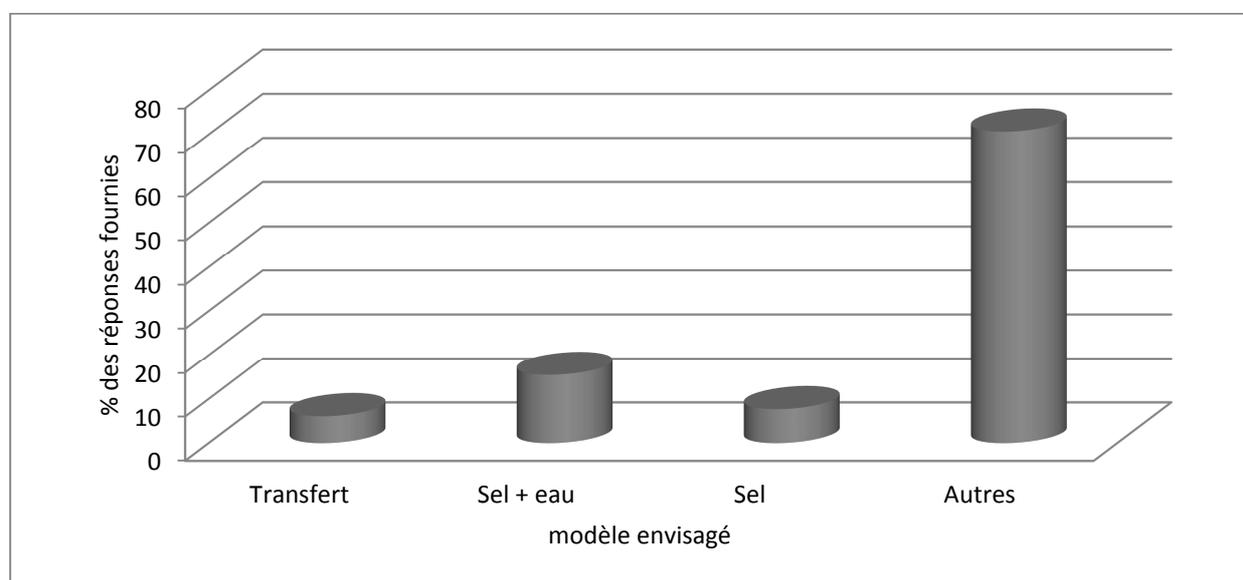


Figure 27. Fréquences des conceptions initiales des élèves sur la réaction acide - base

La majorité des élèves (70,7 %) présentent des conceptions alternatives (autres conceptions) sur la réaction acide-base. Près du cinquième des élèves opte à la fois pour la conception d'Arrhenius et l'ancienne conception (celle de Boyle) en reconnaissant en la réaction acide-base respectivement, la formation du sel et de l'eau (15,5%) et la formation du sel (7,7%) tout court. Très peu d'élèves (6,1%) optent pour Bronsted en définissant la réaction acide-base comme le transfert de proton de l'acide vers la base. Ainsi, partant de ce faible pourcentage, nous pouvons conclure que la conception de Bronsted ne s'est pas encore installée dans le chef des élèves interrogés après avoir suivi l'enseignement théorique.

Alors que 55,3% des élèves savent définir la réaction chimique, seulement une partie, après de 29% des élèves envisage réellement une réaction entre l'acide et la base. On s'attendrait qu'ils atteignent les 55,3% vu que l'appropriation de la réaction acide-base passe par celle de la réaction chimique (Naija, 2004). La difficulté qui se présente est d'appliquer la connaissance de la réaction chimique sur un cas précis comme la réaction acide-base. Aussi au cours de la réaction acide-base, beaucoup d'élèves ne semblent pas percevoir ni indiquer l'existence de la réaction chimique.

Les principales conceptions alternatives sont reprises dans le tableau 29. Comme on peut s'en rendre compte, toutes les conceptions alternatives se retrouvent dans les trois catégories suivantes classées selon que l'élève a envisagé la réaction entre les deux espèces ou pas.

Tableau 29. Quelques conceptions alternatives des élèves sur la réaction acide-base

Une réaction acide-base est :	Fréquences	%
- un passage d'un état substantiel à un état moléculaire	1	0,6
- un ensemble des corps ou des solutions qui se mélange	1	0,6
- une réaction entre un acide et une base pour obtenir un alcalin	1	0,6
- une transformation du proton en ion hydroxyde OH ⁻	1	0,6
- une contraction consistant à recevoir et à céder des produits	1	0,6
- une réaction agissant comme indicateur	1	0,6
- une réaction entre l'oxygène, le métal et le non- métal	1	0,6
- un mélange d'ions	1	0,6
- une réaction au cours de laquelle il y a changement d'étage d'oxydation	2	1,1
- une réaction où le pH varie entre 0-7 ou est >7	2	1,1
- une réaction amphotère ou neutre	2	1,1
- une réaction au cours de laquelle il y a formation de l'eau	4	2,2
- une réaction au cours de laquelle il y a formation d'un produit complexe aux propriétés à la fois acide et base	4	2,2
- un phénomène où participent l'acide et la base	6	3,3
- une réaction de neutralisation	8	4,4
- une combinaison des éléments ou des acides et des bases	10	5,5
- une espèce chimique qui libère des ions H ⁺ et des ions OH ⁻	12	6,6
- un mélange de l'acide et de la base	23	13
- une réaction entre un acide et une base	47	26

Ce tableau nous renseigne que beaucoup d'élèves ont fourni des réponses incomplètes en envisageant la réaction entre les deux espèces, empruntant ainsi des définitions

tautologiques (réaction entre un acide et une base) ou erronées en définissant la réaction acide-base sans envisager cette réaction. Les commentaires suivants s'y attardent pour mieux présenter les difficultés que présentent ces élèves à la fin de l'enseignement théorique, c'est-à-dire habituellement à la fin de leur scolarité. Ainsi, l'analyse de ces conceptions alternatives nous permet de situer trois niveaux de compréhension de la réaction acide-base par les élèves :

1° Pas de réaction envisagée : l'acide et la base conduisent au mélange (parfois pour libérer un alcalin), à la solution, au phénomène (où participent l'acide et la base) ou à rien (parfois se trouve indiqué : le résultat final renferme les deux espèces séparées) ; réaction qui se déroule dans un milieu neutre ; une réaction agissant comme indicateur de l'acide ; effet obtenu d'un acide et d'une base.

2° Réaction envisagée : au cours de la réaction acide-base, l'acide et la base : se combinent (souvent sans rien ajouter et parfois pour former des ions, sans préciser ces derniers), se neutralisent (souvent sans dire davantage et parfois pour former un produit neutre) ; forment une espèce chimique : qui libère des ions H^+ et des ions OH^- ou un produit complexe à la fois acide et base (produit amphotère) ou l'espèce formée est l'eau. Pour se rendre compte de la réaction selon ces élèves, il faudrait mesurer le pH ou le pOH : le pH devient inférieur ou supérieur à 7 (définition descriptive de la réaction acide-base).

3° Autres phénomènes envisagés : réaction au cours de laquelle, il y a changement d'étage d'oxydation (réaction d'oxydoréduction) ; formation d'une liaison covalente (probablement une idée sur la conception de Lewis mais non maîtrisée) ; réaction entre les éléments oxygène, métal et non-métal ; c'est l'équivalent-gramme d'acide et de base.

Ces quelques exemples repris dans chaque catégorie sont une preuve éloquente que le concept de réaction acide-base présente des difficultés d'appropriation. Un effort didactique reste à fournir afin d'amener les élèves à envisager, au cours de la réaction acide-base, la réaction chimique entre l'acide et base d'abord en suivant le schéma d'Arrhenius et progressivement et enfin celui de la conception de Bronsted consistant en un transfert de proton.

Tableau 30. Corrélations Pearson internes entre les catégories des réponses fournies au test 1

Catégories des réponses	Réaction chimique	Acide	Base	Réaction acide-base
Réaction chimique	1			
Acide	-,012	1		
Base	-,065	,348(**)	1	
Réaction acide-base	-,102	,257(**)	,283(**)	1

** Corrélation est significative au seuil 0.01

Aucune corrélation significative n'est établie entre la définition du concept de réaction chimique et celle des autres concepts pour des raisons non encore élucidées. Par contre, les corrélations sont significatives entre les définitions des autres concepts ce qui témoigne d'un lien entre la connaissance préalable des concepts d'acide et de base pour s'approprier le concept de réaction acide-base. De l'autre côté, c'est une indication de l'existence d'un groupes d'élèves qui évoluent en définissant correctement les trois concepts. La valeur élevée de corrélation entre les fréquences de l'acide et de la base indique que leurs appropriations sont davantage liées par rapport aux autres. Les corrélations non significatives mais négatives signifient que la plupart de ceux qui ont défini la réaction chimique n'ont pas nécessairement bien défini l'acide, la base ou la réaction acide-base et inversement. C'est également une absence de lien entre les connaissances de la réaction chimique et des autres concepts.

Nous ne savons pas justifier pour l'instant pourquoi le concept de réaction chimique n'est pas corrélé avec les autres concepts ni non plus pourquoi un si grand nombre d'élèves qui ont réussi à définir la réaction chimique a échoué la définition de la réaction acide-base. Nous pouvons avancer l'hypothèse que l'enseignement théorique n'aurait donné aux élèves que le sens théorique de la réaction chimique. Le faible pourcentage des élèves qui ont réussi à définir la réaction acide-base par rapport à la proportion de ceux qui ont bien défini l'acide et la base en serait un indicateur.

Tableau 31. Résumé des conceptions initiales des élèves

Concept	Synthèse des conceptions initiales des élèves
Réaction Chimique	55,3% des interrogés ont défini correctement la réaction chimique. Les conceptions alternatives sont en partie relatives à la confusion entre mélange et réaction ou à d'autres concepts n'ayant aucun rapport avec la réaction.
Acide	53 % des élèves ont adopté les conceptions classiques, soit 25,4% pour Arrhenius et 27,6% pour Bronsted. 47% des élèves ont adopté d'autres définitions parmi lesquelles les conceptions relatives aux propriétés organoleptiques, à la mesure du pH (définition descriptive) ou à la réactivité de l'acide.
Base	La base est mieux connue sous la conception d'Arrhenius (50,3%) et sous les autres conceptions (45,3%) par rapport à la conception de Bronsted (4,4%). La compréhension qualitative de la base est la plus évoquée parmi les conceptions alternatives.
Réaction acide-base	Plus de 70% des élèves adoptent des conceptions alternatives au détriment de la conception de Bronsted. Ces conceptions alternatives sont essentiellement des définitions tautologiques et celles liées à la confusion entre les concepts "réaction" et "mélange". Nombreux sont les élèves qui n'envisagent pas de réaction chimique entre l'acide et la base.

Conclusion partielle

Les trois concepts sont mieux connus sous les conceptions alternatives avec une proportion importante accordée à la réaction acide - base. Dans l'ensemble, ils sont faiblement connus sous le modèle de Bronsted, le modèle souhaité. L'acide est plus connu sous le modèle de Bronsted et la base sous le modèle Arrhenius tandis que la réaction acide – base est davantage connue sous les modèles inappropriés.

Rappelons que l'objet de notre recherche est d'établir les conceptions des élèves sur la réaction acide-base et de les aider à s'appropriier la conception de Bronsted adaptée aux phénomènes étudiés en chimie au secondaire. Le programme de chimie recommande l'étude de ces trois conceptions en insistant sur l'étude de celles de Bronsted et de Lewis en dernière année sans expliquer comment cela devrait se faire ! Nous croyons que chaque professeur a enseigné les trois conceptions, sans schéma ou procédure directrice (directive

méthodologique précise), soit en les citant l'une après l'autre avec commentaires sans appui expérimental. Ce travail, à ce stade, vient confirmer s'il en était encore besoin, que la conception de Lewis n'est pas généralement enseignée aux élèves contrairement à ce qui est prévu au programme et que seules deux conceptions sont enseignées, la conception d'Arrhenius et la conception de Bronsted -Lowry.

Nous ne savons pas pourquoi cette conception n'est pas enseignée par application du programme. Nous croyons que par pragmatisme les enseignants trouvent difficile à faire comprendre cette conception aux élèves par manque d'exemples concrets y relatifs ou des cas illustratifs.

4.4.2. Difficultés et conceptions après réalisation des travaux pratiques

Cette partie ressemble les réponses relatives aux connaissances des élèves sur les concepts « acide, base, réaction acide – base » après réalisation des travaux pratiques. Elles confirment ou infirment que les élèves se sont appropriés la réaction acide – base selon le modèle de Bronsted.

A. Résultats globaux

Au cours des tests 2 & 3, les difficultés et les conceptions (capacités) des étudiants sont évaluées à trois niveaux : connaissance des concepts, compréhension des propriétés qualitatives et la compréhension des propriétés quantitatives relatives à la réaction acide-base.

a. Connaissance des concepts

La connaissance des concepts concerne les questions relatives aux définitions des concepts « acide, base, réaction acide – base » et à l'identification de l'acide ou de la base de Bronsted dans une série d'espèces chimiques.

- **Définition des concepts** : cette partie concerne la définition des concepts acide, base et de réaction acide-base selon le modèle de Bronsted. Les réponses des élèves aux trois premières questions du test 2 sont présentées et commentées.

Encadré 2. Question et fréquences des réponses relatives à la définition de l'acide

Question 1. Quelle est la définition qui correspond le mieux à celle d'un acide ? Un acide est :

- a. un poison ou toute substance capable de provoquer des brûlures sur la peau
- b. **toute espèce chimique capable de libérer un proton en solution**
- c. le résultat de la réaction d'hydrolyse d'un sel
- d. une substance qui participe à la réaction de neutralisation pour produire le sel et l'eau
- e. un électrolyte, utilisé pour faire fonctionner la batterie
- f. toute substance hydrogénée capable de libérer le proton dans l'eau

Fréquences des réponses

Assertion choisie	a	b	c	d	e	f
Fréquences (%)	5	65,2	2,8	2,2	1,1	23,8

En termes de valeurs des fréquences, deux conceptions émergent : la conception de Bronsted et celle d'Arrhenius. La majorité des élèves (65,2%) a opté pour la bonne réponse alors que près du quart (23,8%) des élèves interrogés ont envisagé la conception d'Arrhenius. Peu d'élèves (5 %) attribuent à l'acide des propriétés organoleptiques : un poison, une substance capable de provoquer des brûlures sur la peau. Seulement deux élèves (1,1%) considèrent l'acide comme un électrolyte, utilisé pour faire fonctionner la batterie. Ainsi à l'issue de la manipulation, l'acide est mieux connu sous la conception de Bronsted-Lowry.

Encadré 3. Question et fréquences des réponses relatives à la définition de la base

Question 2. Quelle est la définition qui correspond le mieux à celle d'une base ? Une base est :

- a. **une espèce chimique susceptible d'accepter des ions H^+**
- b. toute substance qui en solution aqueuse libère les ions OH^-
- c. une substance qui participe à la réaction de neutralisation pour produire du sel et de l'eau
- d. une substance qui n'est ni acide ni sel
- e. toute substance chimique qui renferme le groupement OH^-
- f. une substance qui sert à fabriquer du savon

Fréquences des réponses

Assertion choisie	a	b	c	d	e	f
Fréquences (%)	40,3	42,5	2,2	3,3	5,5	6,1

Une partie importante des élèves ont opté pour deux modèles classiques: soit 40,3 % pour le modèle de Bronsted et 42,5 % pour celui d'Arrhenius. Des fréquences voisines, les deux conceptions représentent près de 80% des conceptions envisagées par les élèves. Les autres élèves font allusion à l'usage de la base comme matière de fabrication de savon (entendez ici l'hydroxyde de sodium utilisée localement), à la formule chimique ou encore aux substances qui ne sont ni acide ni sel.

Ces résultats comparés aux résultats relatifs à l'acide révèlent que la base est mieux connue sous la conception d'Arrhenius. Cela pourrait se justifier en partie par le fait que la plupart des bases rencontrées par les élèves et proposées en classe sont des hydroxydes. Aussi il n'y a pas assez de cas de bases connues par les élèves dans leur vie courante.

Encadré 4. Question et fréquences des réponses relations à la définition de la réaction acide-base

Question 3. Laquelle parmi les définitions proposées ci-dessous est plus générale et donc la plus acceptable ? La réaction acide-base est une réaction qui consiste en :

- a. une formation uniquement d'un sel
- b. une formation d'un sel et de l'eau
- c. un transfert d'un proton de l'acide vers la base**
- d. aucune des définitions proposées n'est correcte

Fréquences des réponses

Assertion choisie	a	b	c	d
Fréquences (%)	6,6	31,5	52,5	9,4

Près de la moitié des élèves ont défini la réaction acide-base comme un transfert du proton de l'acide vers la base et un nombre important (38,1%) a adopté le modèle de Arrhenius en envisageant la formation soit du sel et de l'eau (31,5%) ou l'ancien modèle soit tout simplement du sel (6,6%).

L'analyse des réponses fournies montre que la majorité des élèves qui a envisagé initialement la libération du proton par l'acide et la libération de l'hydroxyde par la base se retrouve parmi ceux qui ont opté pour la conception de la formation d'un produit. Cette situation se justifie par deux raisons possibles :

- ces élèves ayant suivi les manipulations se sont rendus compte que les produits attendus ou obtenus de la réaction réalisée étaient le sel et l'eau ;
- l'assertion proposée a aidé les élèves à compléter leurs réponses initialement incomplètes sur la réaction acide-base : la réaction entre un acide et une base ..., deux espèces dont la première libère le proton et la seconde l'ion hydroxyde. Connaissant bien la composition de chaque espèce (acide et base) les ions se recombinaient aboutissant à la formation du sel et de l'eau.

Pour comprendre la progression des groupes d'élèves dans l'appropriation des concepts selon les différents modèles, il sied d'établir des corrélations internes entre les fréquences des réponses fournies aux trois questions. Nous croisons les fréquences obtenues par paire des concepts soit acide-base, acide et réaction acide-base, base et réaction acide-base. Les différents résultats sont présentés dans les tableaux 32, 33 et 34.

Le tableau 32 nous indique cette corrélation entre l'appropriation de l'acide et celle de la base.

Tableau 32. Tableau croisé des fréquences des conceptions sur l'acide et la base

		Nombre d'élèves ayant envisagé le modèle pour la base			
		Arrhenius	Bronsted	Autres	
Nombre d'élèves ayant envisagé le modèle pour l'acide	Arrhenius	23	12	8	43
	Bronsted	44	58	16	118
	Autres	10	3	7	20
		77	73	31	

De ce tableau, il se dégage que :

- près du quart des élèves qui avaient la conception Arrhenius pour l'acide ont opté pour Bronsted pour la base ;
- nombreux sont les élèves qui avaient la conception Bronsted de l'acide et ont opté pour la conception Arrhenius de la base.

- la moitié des élèves qui ont la conception alternative pour l'acide ont choisi la conception Arrhenius pour la base mais le reste a gardé majoritairement les conceptions alternatives.

Il ressort donc de ce qui précède que ceux qui ont opté pour la conception base de Bronsted, ont majoritairement la conception acide de Bronsted.

Le tableau suivant présente la corrélation entre l'appropriation de l'acide et celle de la réaction acide-base.

Tableau 33. Tableau croisé des fréquences des conceptions sur l'acide et la réaction acide-base

		Nombre d'élèves ayant envisagé le modèle à la réaction acide-base			
		Sel + eau	Transfert	Autres	
Nombre d'élèves ayant envisagé la modèle pour l'acide	Arrhenius	17	21	5	43
	Bronsted	42	70	6	118
	Autres	10	4	6	20
		69	95	17	

Il ressort du tableau 33 que :

- près de la moitié des élèves ayant la conception Arrhenius du concept acide a opté pour le transfert du proton et légèrement l'autre moitié a opté pour la formation du sel et l'eau ou la formation du sel ;
- un nombre légèrement supérieur à la moitié des élèves qui avaient la conception Bronsted du concept acide a opté pour le transfert du proton et l'autre groupe a préféré la formation du sel et de l'eau ou la formation du sel ;
- la plupart de ceux qui avaient des conceptions alternatives pour l'acide ont opté pour la formation du sel ; certains d'entre eux ont gardé les mêmes conceptions alternatives.

Une grande partie des élèves qui ont opté pour le transfert du proton ont la conception Bronsted pour l'acide.

Le tableau 34 nous présente la corrélation entre l'appropriation de la base et celle de la réaction acide-base.

Tableau 34. Tableau croisé des fréquences des conceptions sur la base et la réaction acide- base

		Nombre d'élèves ayant envisagé le modèle pour la réaction acide-base			
		Sel + eau	Transfert	Autres	
Nombre d'élèves ayant envisagé le modèle pour la base	Arrhenius	39	28	10	77
	Bronsted	13	57	3	73
	Autres	17	10	6	33
		69	95	19	

Du tableau 34, nous pouvons également constater que :

- près de 2/3 des élèves qui ont opté pour le transfert du proton ont la conception Bronsted de la base. L'autre partie a la conception Arrhenius de la base ;
- plus de 3/4 de ceux qui ont la conception Bronsted pour la base ont opté pour le transfert du proton ;
- la moitié des élèves qui ont la conception Arrhenius de la base opte pour la formation du sel et de l'eau ou la formation du sel.

Les trois tableaux de croisement des fréquences montrent que l'acide est mieux connu sous la conception Bronsted par rapport à la base. Aussi, le passage de la base de Bronsted au transfert de proton est plus facile que le passage de l'acide de Bronsted.

La majorité des élèves qui comprennent la base sous la conception de Bronsted envisagent aisément le transfert de proton. Ainsi l'ignorance de la base de Bronsted est un blocage à la connaissance de la réaction acide-base comme transfert du proton.

D'autre part, le tableau 35 nous renseigne sur le degré de signification entre la réussite aux différentes questions relatives à la compréhension des propriétés qualitatives de la réaction acide-base.

Tableau 35. Corrélations Pearson internes entre les questions de la première catégorie

Réponses	Q1	Q2	Q3
Q1	1		
Q2	,246(**)	1	
Q3	,187(*)	,466(**)	1

** la corrélation est significative au seuil 0.01 (bivarié).

* la corrélation est significative au seuil 0.05 (bivarié)

Les corrélations sont significatives entre les réussites aux trois questions les unes au seuil 0.01 et les autres au seuil 0.05. Ceci témoigne de l'existence des groupes d'élèves qui réussissent à la fois deux ou trois questions et qui pour réussir la question suivante ont dû d'abord réussir la ou les questions qui précèdent. La valeur élevée de corrélation entre les fréquences de la base et de la réaction acide-base indique que leurs appropriations sont plus liées par rapport à l'appropriation des concepts de base et d'acide. Ainsi avec 99% des chances, la connaissance de la réaction acide-base est influencée par celle de la base. Ainsi la connaissance de la base de Bronsted est un atout à la connaissance de la réaction acide-base comme transfert du proton. Par conséquent, elle est un nœud important dans la connaissance et la compréhension des propriétés qualitatives de la réaction acide-base.

- **Identification des acides et des bases**

Dans cette section, nous présentons les résultats relatifs à la capacité des élèves à identifier un acide ou une base de Bronsted dans une série d'espèces chimiques. Ici nous reprenons les résultats recueillis aux trois premières questions du test 3.

Encadré 5. Question et fréquences des réponses relatives à l'identification d'un acide

Question 1. Parmi les espèces chimiques, dire celle qui ne peut pas être considérée comme acide de Bronsted-Lowry. Justifier la réponse: a. CH_3COOH b. HCOO^- c. H_2O d. NH_4^+

Fréquences des réponses

Assertion choisie	a	b	c	d	abstention
Fréquence (%)	23,2	39,2	16,0	20,4	1,1

La bonne réponse a été trouvée par 39,2% des élèves. Très peu d'élèves (11,1%) ont pu justifier leur choix en disant que l'anion formiate ne pourrait pas libérer de proton mais seulement l'accepter. Une part importante des élèves a porté son choix sur l'acide acétique (23,2%), l'ion ammonium (20,4%) et de l'eau (16,0%) ce qui montre la difficulté que présentent les élèves à identifier un acide de Bronsted parmi une série d'espèces.

Encadré 6. Question et fréquences des réponses relatives à l'identification d'une base

Question 2. Parmi les espèces chimiques, dire celle qui ne peut pas être considérée comme base de Bronsted-Lowry. Justifier la réponse: a. NH_3 b. CN^- c. H_2O d. NH_4^+

Fréquences des réponses

Assertion choisie	a	b	c	d	abstention
Fréquence (%)	6,1	21,5	35,4	32,0	5,0

Nombreux sont les élèves qui ont désigné l'eau (35,4%) et l'ion cyanure (21,5%) comme n'étant pas des bases de Bronsted. D'autres moins nombreux (32,0%) que les premiers ont choisi la bonne réponse. Aucune raison n'a été avancée par les élèves pour justifier leur choix. Ceci témoigne de la difficulté qu'ils ont à identifier la base de Bronsted dans une série d'espèces chimiques.

Encadré 7. Question et fréquences des réponses relatives à l'identification d'une espèce amphotère

Question 3. Laquelle parmi les espèces suivantes ne peut pas agir à la fois comme acide et base de Bronsted ? Justifier la réponse. a. HCOO^- b. HCO_3^- c. HS^- d. H_2O

Fréquences des réponses

Assertion choisie	a	b	c	d	abstention
Fréquence (%)	32,0	12,2	32,0	20,4	3,4

Près du tiers des élèves (32,0%) ont choisi la bonne réponse à cette question en affirmant que l'anion formiate ne pourrait se comporter que comme une base.

L'ion hydrogénosulfure, l'eau et bicarbonate sont considérés par les autres élèves comme ne pouvant agir à la fois comme acide et comme base. La fréquence attribuée à HS⁻ (32,0%) et celle attribuée à H₂O (20,4%) montrent combien les élèves ont eu de la peine à identifier l'acide et la base de Bronsted.

Tableau 36. Corrélations Pearson internes entre les réussites aux questions

Réponses	Q1	Q2	Q3
Q1	1		
Q2	,153(*)	1	
Q3	,291(**)	,163(*)	1

* la corrélation est significative au seuil 0.05 (bivarié)

** la corrélation est significative au seuil 0.01 (bivarié)

Les valeurs de seuil de signification montrent qu'il existe une forte corrélation entre les réussites aux différentes questions dépendantes les unes des autres. La corrélation est importante lorsque les élèves doivent identifier une espèce qui est une base de Bronsted et une espèce amphotère.

D'autre part, les fréquences simples indiquent que 19 élèves (10,5%) ont réussi à la fois les trois questions. Ce nombre est très bas lorsqu'on le compare à la fréquence obtenue au test relatif à la définition des concepts. En effet, une lecture assez poussée des résultats montre qu'une bonne partie des élèves savent définir les différents concepts sans être capables d'en identifier des exemples précis.

b. Compréhension des propriétés qualitatives

Dans cette section, nous présentons les résultats relatifs à l'appréciation par les élèves de la force d'un acide, de la variation de l'acidité d'une solution et du couple acide-base conjugués. Pour ce dernier, il s'agit de son identification et sa désignation dans un équilibre ionique.

- Variation de l'acidité d'une solution (référence test 2)

Encadré 8. Question et fréquences des réponses relatives à l'augmentation de l'acidité

Question 4. Pour augmenter l'acidité d'une solution, il faudrait :

- a. augmenter la concentration en ions H^+
- b. diminuer le pOH de la solution
- c. chauffer la solution jusqu'à l'évaporation du solvant
- d. ajouter le solvant (eau)

Fréquences des réponses

Assertion	a	b	c	d	abstention
Fréquence (%)	64,1	12,7	10,5	12,2	0,6

Nombreux sont les élèves (64,1%) qui ont choisi la bonne réponse. Les autres élèves envisagent la diminution du pOH (12,7%), la dilution de la solution (12,2%) ou l'évaporation du solvant (10,5%) comme moyens d'augmenter l'acidité d'une solution.

Ces fausses conceptions envisagées à des fréquences importantes et voisines montrent que de nombreux élèves ont des difficultés d'une part, à établir le lien exact entre le pH et la concentration de la solution et d'autre part, à reconnaître le facteur auquel est liée l'augmentation de l'acidité d'une solution.

Encadré 9. Question et fréquences des réponses relatives à la diminution de l'acidité

Question 5. Pour diminuer l'acidité d'une solution, il faudrait :

- a. diminuer la concentration en ions OH^- en ajoutant de l'acide
- b. augmenter le pH de la solution**
- c. refroidir la solution
- d. évaporer le solvant (eau) par chauffage

Fréquences des réponses

Assertion	a	b	c	d	abstention
Fréquence	9,9	59,7	5,0	18,2	7,2

Près de 60% des élèves ont choisi la bonne réponse. 23,2% des élèves proposent le recours à des moyens physiques, soit par chauffage de la solution en évaporant le solvant (18,2%), soit par refroidissement de la solution (5%). D'autres proposent la diminution de la concentration hydroxyde ne sachant probablement pas lier l'évolution du pH à la concentration en OH^- . Plus loin, nous montrons que les deux tiers des élèves appartenant à ce groupe ont établi une relation linéaire entre le pH et la concentration d'une solution de NaOH.

Tableau 37. Tableau croisé des fréquences des réponses relatives à l'augmentation et à la diminution de l'acidité (Q4 et Q5)

		Nombre d'élèves ayant opté à la Q5 pour le modèle					
		a	b	c	d	abstention	
Nombre d'élèves ayant opté le modèle à la Q4	a	8	74	4	21	9	116
	b	4	12	2	3	2	23
	c	3	11	2	2	1	19
	d	3	11	0	7	1	22
	abstention	0	0	1	0	0	1
		18	113	9	33	13	

Dans ce tableau, les résultats relatifs au croisement des réponses fournies montrent que la majorité des élèves (40,9%) a choisi à la fois les bonnes réponses aux questions Q4 et Q5. 18,8% a choisi la bonne Q5 et opté pour la mauvaise Q4 ; 18,2% des élèves ont choisi la bonne Q4 et la mauvaise Q5 avec une forte proportion en faveur de l'évaporation du solvant (sous-question d). Très peu d'élèves ont opté à la fois pour des mauvaises réponses à ces deux questions prouvant une maîtrise partielle de cette notion par un bon nombre d'élèves.

- *Force d'un acide (référence test 2)*

Encadré 10. Question et fréquences des réponses relatives à la constante d'acidité

Question7. Laquelle des valeurs des constantes d'acidité indiquées ci-dessous correspondent à l'acide le plus faible ? Justifier la réponse a. 1.0×10^{-7} b. 1.0×10^{-5} c. 1.0×10^{-2} d. 10

Fréquences des réponses

Assertion choisie	a	b	c	d	abstention
Fréquence (%)	53,6	6,6	8,8	29,3	1,7

Près de la moitié des élèves ont proposé la bonne réponse. Toutes les personnes ayant choisi cette réponse l'ont bien justifiée : un acide est d'autant plus faible que son K_a est plus petit ou son pK_a est plus grand. 29,3% ont choisi la valeur la plus élevée de la constante d'acidité pour l'acide le plus faible. Pour justifier leurs réponses, certains ont proposé la réponse : pK_a grand confondant tout simplement la valeur de K_a proposée à la valeur de pK_a non proposée (simple distraction) ; d'autres ont eu des difficultés de comparer les nombres avec des puissances négatives (problème mathématique !).

Une étude complémentaire pourrait nous éclairer sur la manière dont ces élèves apprécient K_a et pK_a d'un acide ou ce qu'ils savent des nombres décimaux présentés en écriture scientifique.

Encadré 11. Question et fréquences des réponses relatives à la force d'un acide

Question 8. Laquelle des assertions suivantes est correcte (+ justifier la réponse) :

- a. la force d'un acide augmente lorsque le pH augmente
- b. la force d'une base augmente avec l'augmentation du p OH
- c. la force d'un acide est proportionnelle à sa masse
- d. la force d'un acide est proportionnelle à son volume
- e. la force d'un acide est proportionnelle au nombre de moles d'ions H^+ qu'il libère en solution**

Fréquences des réponses

Assertion choisie	a	b	c	d	e	abstention
Fréquence	14,4	10,5	7,2	7,7	58,0	2,2

Plus de la moitié des élèves (58%) ont trouvé la bonne réponse en liant la force d'un acide au nombre de moles qu'il libère en solution. Pour le justifier, certains avancent la raison suivante : si un acide est capable de libérer en solution un nombre de moles de H^+ élevée, alors il est plus fort qu'un autre qui le fait moins en évoquant le degré d'ionisation (78 individus). Les autres élèves appartenant à ce groupe (27 individus) ont préféré reprendre la définition de l'acide selon la conception Bronsted-Lowry pour tenter de justifier leur choix : un acide est toute espèce chimique qui libère un proton en solution. Ce qui fait partie de la réponse proposée.

Par contre, d'autres élèves ont pensé que cette force était liée à la masse (7,2%) ou au volume (7,7%). D'autres encore ont attribué à l'augmentation de la force d'un acide à celle du pH (14,4%) ou à l'augmentation de la force d'une base à celle du pOH (10,5%). Les assertions à cette question ayant des similarités avec les questions Q4 et Q5, il est intéressant de savoir comment les élèves ont orienté leur choix. Un croisement des fréquences peut nous y aider.

Tableau 38. Tableau croisé des fréquences des réponses relatives à la force d'un acide et à l'augmentation de l'acidité (Q8 et Q4)

		Nombre d'élèves ayant choisi à la Q4					
		a	b	c	d	abstention	
Nombre d'élèves ayant choisi à la Q8	a	12	3	3	8	0	26
	b	10	4	2	3	0	19
	c	6	2	1	3	1	13
	d	8	3	3	0	0	14
	e	76	11	10	8	0	105
		112	23	19	22	1	

Ainsi par croisement des fréquences simples relatives à Q8 et Q4, nous remarquons que 42% des élèves ont choisi les bonnes réponses à la fois aux Q4 et Q8. Ce pourcentage représente plus de la moitié du choix porté en faveur de chaque question prise séparément. 19,9% des élèves qui ont réussi à la Q4 n'ont pas choisi la bonne réponse pour Q8. De même que 16% des élèves ayant réussi à la Q8 ont choisi des mauvaises assertions à la Q4.

À la question Q4, 23 élèves ont pensé que pour augmenter l'acidité d'une solution, il faudrait diminuer le pOH et à la Q8, 26 élèves ont pensé que la force d'un acide augmente lorsque le pH augmente : seulement 3 élèves optent pour ces deux assertions. Étant donné le peu d'élèves qui adhèrent à la fois aux deux assertions, nous émettons l'hypothèse que les élèves savent soit utiliser à la fois les termes pH et pOH, soit différencier l'acidité d'une solution et la force d'un acide, mais qu'ils ignorent les facteurs qui influencent leur variation.

Tableau 39. Tableau croisé des fréquences des réponses relatives à la force d'un acide et à la diminution de l'acidité (Q8 et Q5)

		Nombre d'élèves ayant choisi à la Q5					
		a	b	c	d	abstention	
Nombre d'élèves ayant choisi à la Q8	a	4	14	1	6	1	25
	b	3	12	1	3	0	19
	c	3	7	1	2	0	13
	d	0	13	0	1	0	14
	e	8	60	6	20	11	105
	Abstention	0	2	0	1	1	4
		18	108	9	33	13	

Les fréquences de réussite aux deux questions sont voisines. En effet 33,1% ont choisi à la fois les bonnes réponses aux questions Q5 et Q8, soit près de la moitié de réussites à chacune des deux questions. L'autre partie a opté pour d'autres assertions.

D'autre part, les résultats nous montrent que la majorité des élèves qui ont trouvé la bonne réponse à la question Q8 sont du même groupe que ceux qui ont bien répondu aux questions Q4 et Q5.

Tableau 40. Corrélations Pearson internes entre les réponses aux questions de la catégorie 2

Réponses	Q4	Q5	Q7	Q8
Q4	1			
Q5	,112	1		
Q7	-,004	,003	1	
Q8	,203(**)	-,061	,084	1

** Corrélacion est significative au seuil 0.01 (bivarié).

Seules les réponses fournies aux questions Q4 et Q8 présentent une corrélation significative au seuil 0.01 ce qui implique que avec 99% de chance, les élèves ont établi que la concentration en ions H^+ explique à la fois la force d'un acide et la variation de l'acidité d'une solution. Deux corrélations sont non significatives et négatives : il s'agit de Q5-Q8 et de Q4-Q7 pour échec et réussite à la fois aux deux questions associées.

- **Couple acide – base conjuguée** (référence au test 3)

Nous présentons ici les réponses des élèves sur leurs connaissances du couple acide – base conjugué, l'identification de ce couple dans un système en équilibre ou son exploitation pour indiquer le sens de l'évolution de la réaction.

• **Solutions tampons**

Plus de la moitié des élèves ont raté cette question. 28,7% ont identifié la première bonne réponse et 45,3% la seconde. Seulement 18,8% des élèves interrogés ont pu trouver à la fois les deux bonnes réponses (b et e) et apporté un justificatif qui relève de la conception d'Arrhenius.

Encadré 12. Question et fréquences des réponses relatives aux mélanges tampons

Question 5. Désignez parmi les solutions suivantes celles qui sont tampons et justifiez la réponse : a. HCl/HCOOH **b. NH₄Cl/NH₃** c. NaOH/NH₃ d. HCOONa/NaOH **e.**

CH₃COOH/CH₃COONa

Fréquences des réponses

Assertion choisie	b	e	b & e
Fréquence (%)	28,7	45,3	18,8

Ce justificatif se présente comme suit : " ces solutions sont des mélanges tampons car il s'agit d'un mélange d'un sel d'acide fort-base faible et de la solution de base faible pour NH₄Cl/NH₃ ou d'une solution d'acide faible et d'un sel de base forte-acide faible pour CH₃COOH/CH₃COONa". On voit bien que la notion de couple acide-base conjugué n'apparaît pas parmi les justifications fournies par les élèves ! La première réponse était plus difficile à trouver par rapport à la seconde. Nous ne savons pas justifier pour l'instant pourquoi les élèves ont trouvé facilement cette réponse par rapport à la première.

- Equilibres ioniques (acide-base)

Encadré 13. Question relative à l'identification du couple acide-base dans un équilibre

Question 6. Identifie dans chacun des systèmes suivants et fais correspondre par des flèches, la paire acide-base conjugués. Indique – au moyen d'une flèche- le sens de l'évolution de la réaction.



Pour la question Q6, on a **6a** identification de la paire acide-base et **6a1** indication du sens de la réaction (équilibre de dissociation d'un acide faible)

Près de la moitié (48,1 %) des élèves interrogés ont identifié les deux paires acide-base conjuguée. 62,4% des élèves ont marqué le sens exact de la réaction. Remarquons que même ceux qui n'étaient pas capables d'identifier la paire acide-base conjugué ont pu indiquer correctement le sens de la réaction. Cela est dû à l'effet du hasard : il n'y avait qu'une chance sur deux de se tromper ou de trouver la réponse correcte.

Pour la question Q6, on a **6b** identification de la paire acide-base et **6b2** indication du sens de la réaction (équilibre de dissociation d'une base faible)

Près de la moitié des élèves ont identifié la paire acide-base (48,6%) et plus de la moitié (54,1%) ont indiqué le sens de la réaction sans exploiter le couple acide-base. Les autres ont soit échoué soit n'ont rien proposé.

Dans l'encadré 14, nous présentons les résultats relatifs aux connaissances des élèves à établir des équilibres acido-basiques et à la mise en évidence du couple acide-base conjugués.

Encadré 14. Question relative à l'établissement d'un équilibre acide-base

Question 7. Montrer tous les équilibres ioniques qui apparaissent en : a. solution aqueuse de $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ b. solution aqueuse de NH_4Cl

On peut dénombrer cinq équilibres au total dans les deux solutions :

Soit 7a les réponses des élèves sur les équilibres relatifs à la solution aqueuse d'acétate d'ammonium :

7a1 équilibre relatif à l'ion acétate dans l'eau

7a2 équilibre relatif à l'ion ammonium dans l'eau

7a3 équilibre relatif à l'eau dans l'eau

Soit 7b les équilibres relatifs à la solution aqueuse de chlorure d'ammonium :

7b1 équilibre relatif à l'ion ammonium dans l'eau

7b2 équilibre relatif à l'eau dans l'eau

a. Trois équilibres apparaissent dans cette solution. Il s'agit des équilibres suivants :



Les résultats relatifs à ces équilibres sont repris dans le tableau suivant :

Tableau 41. Fréquence des réponses relatives à l'établissement d'un équilibre acide-base (partie A)

7a	$\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH}/\text{H}_3\text{O}^+$ (1)	$\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}_3\text{O}^+$ (2)	$2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$ (3)
Indiqué	30,9%	35,9%	21,0%
Irréversible	24,3%	24,3%	19,9%

Plus de la moitié des élèves ont échoué à cette question : les uns indiquant de faux équilibres et les autres préférant s'abstenir. L'équilibre relatif à l'eau a été plus difficilement identifiable par les élèves que ne l'ont été les autres. Plus de la moitié de ceux qui ont proposé ces équilibres ont considéré qu'ils étaient irréversibles en n'indiquant qu'une seule flèche.

- b. deux équilibres sont à constater dans cette solution ; il s'agit de l'équilibre de l'ion ammonium en présence de l'eau et de l'autoprotolyse de l'eau.

Nous remarquons que moins de la moitié des élèves a pu identifier ces équilibres. L'autoprotolyse de l'eau a été la plus difficile à proposer par les élèves.

Soit **7b** les réponses des élèves sur les équilibres en solution aqueuse

Tableau 42. Fréquences des réponses relatives à l'établissement d'un équilibre acide-base (partie B)

7b	$\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}_3\text{O}^+$ (1)	$2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$ (2)
Indiqué	43,1%	19,3%
Irréversible	20,4%	19,3%

Nous constatons que les élèves ont eu des difficultés à tenir compte de l'eau dans les différents équilibres proposés. Pour eux, l'eau ne joue que le rôle de solvant.

Plus de la moitié des élèves pensent que l'équilibre est irréversible, en n'indiquant qu'une seule flèche. Ainsi, non seulement la connaissance des espèces qui entrent en jeu pose problème mais aussi le sens accordé à cet équilibre est biaisé.

A la lumière de la question précédente, on constate que c'est la reconnaissance et l'identification de la paire acide-base conjuguée qui est le nœud de la question.

Tableau 43. Corrélations Pearson internes entre les réponses relatives au couple et à l'équilibre acide-base

	Q6a	Q6b	Q6a1	Q6b2	Q7a1	Q7a2	Q7a3	Q7b1	Q7b2
Q6a	1								
Q6b	,768(**)	1							
Q6a1	,391(**)	,489(**)	1						
Q6b2	,331(**)	,141	,565(**)	1					
Q7a1	,361(**)	,162(*)	,269(**)	,400(**)	1				
Q7a2	,248(**)	,217(**)	,279(**)	,365(**)	,147(*)	1			
Q7a3	,237(**)	,231(**)	,312(**)	,474(**)	,623(**)	,378(**)	1		
Q7b1	,391(**)	,203(**)	,442(**)	,555(**)	,528(**)	,302(**)	,318(**)	1	
Q7b2	,117	-,084	,059	,198(**)	,459(**)	,188(*)	,194(**)	,563(**)	1

** la corrélation est significative au seuil 0.01 (bivarié).

* la corrélation est significative au seuil 0.05 (bivarié)

On observe des corrélations significatives pour l'identification du couple acide-base conjuguée et pour l'indication du sens de la réaction. Les mêmes observations sont faites pour les fréquences relatives à l'établissement de différents équilibres acido-basiques. Plus bas, le tableau indique des corrélations significatives entre l'identification du couple acide-base conjuguée et l'établissement de différents équilibres.

Particulièrement les valeurs relatives à l'identification de la paire acide-base et l'indication du sens de la réaction sont fortement corrélées. Cela traduit le fait que les mêmes élèves ont identifié les paires acide-base conjuguée pour les deux équations proposées. Aussi ceux qui ont identifié la paire acide-base ont indiqué correctement le sens de la réaction.

Les valeurs de corrélation entre les deux sous questions Q7 en rapport à l'établissement des équilibres de l'eau dans l'eau et celles relatives à l'établissement de l'équilibre de l'ion ammonium dans l'eau sont significatives mais faibles.

Également les corrélations entre l'identification du couple acide-base conjuguée à la Q6 et l'établissement de l'équilibre de l'eau dans l'eau à la Q7 ne sont pas significatives.

La corrélation est même négative pour l'équilibre de l'ammoniac et celui de l'eau dans l'eau. Cela s'explique par le fait que nombreux sont les élèves qui ont eu difficile à établir l'équilibre dû à l'eau.

c. Compréhension des propriétés quantitatives

Les propriétés quantitatives concernent la mesure du pH et la réaction de neutralisation. La question est de savoir si les élèves savent calculer le pH d'une solution connaissant sa concentration ou apprécier la neutralisation complète d'un acide faible par une base forte ou une base faible par un acide fort. Les réponses concernent aussi bien le test 2 que le test 3.

- **Mesure du pH (référence test 2)**

Encadré 15. Question et fréquences des réponses relatives au pH et basicité					
Question 9. Laquelle parmi les solutions dont les valeurs de pH sont indiquées ci-dessous est la plus basique : a. pH = 1 b. pH = 2 c. pH = 3 d. pH = 5 justifier la réponse					
Fréquences des réponses					
Assertion choisie	a	b	c	d	Aucune
Fréquence (%)	16,6	3,3	7,7	65,2	7,2

Il s'agit des valeurs de pH qui tombent dans la zone dite acide. En principe plus la valeur de pH augmente plus la solution est basique. Ainsi, la solution dont le pH est égal à cinq, est la plus basique. Nombreux (65,2%) sont les élèves qui ont choisi cette bonne réponse. Tous ont apporté le justificatif y relatif en partant soit du pH soit du pOH : plus le pH augmente plus la solution est basique ou de toutes ces solutions celle dont le pH = 5 a le pOH le plus faible (valeur 9) et donc la solution est plus basique.

Par contre, les autres (16,6%) qui ont choisi pH = 1 semblent avoir confondu le pH au pOH car certains parmi eux disent : plus le pH est faible, plus la concentration en H⁺ est faible et donc un pH faible indiquerait une faible acidité ou une forte basicité (voir la plupart des justificatifs avancés) alors que d'autres n'avancent aucun motif.

D'autre part, un nombre important d'élèves (7,2%) ont cru qu'aucune réponse n'était correcte car selon eux aucune de ces solutions n'est basique : les pH de ces solutions sont inférieurs à 7 alors que le pH d'une solution basique est toujours supérieur à 7. Ils ont ainsi

ignoré l'acidité ou la basicité relative. Nous pensons qu'ils n'ont pas tenu compte de la présence dans une solution aqueuse à la fois des ions H^+ et des ions OH^- (la dissociation ionique de l'eau) ou n'ont pas compris la question.

On constate que les élèves emploient des concepts opposés « pH et pOH ; acidité et basicité » pour apprécier/décrire une même grandeur qui pourraient être à la base de confusions.

Tableau 44. Tableau croisé des fréquences des réponses relatives au pH d'une solution et la force d'un acide (Q7 et Q9)

		Nombre d'élèves ayant choisi à la Q9				
		a	b et c	d	abstention	
Nombre d'élèves ayant choisi à la Q7	a	17	10	64	6	97
	b et c	4	3	20	1	28
	d	9	5	33	6	53
	Abstention	0	2	1	0	3
		30	20	118	13	

Une bonne partie des élèves (35,4%) ont choisi à la fois les bonnes réponses aux questions Q7 et Q9 du questionnaire 2. Ce pourcentage représente près de la moitié des bonnes réponses à la Q9 et un peu plus de la moitié des réponses à la Q7. Parmi ceux qui ont échoué à la question Q7 mais réussi Q9, on dénombre 11% qui optent pour des valeurs intermédiaires et 18,2% pour la plus grande valeur des constantes d'acidité. Parallèlement pour Q9, 9,3% ont opté pour la plus petite et 5,5% pour des valeurs intermédiaires de pH. Ainsi la proportion des élèves qui ont réussi Q9 mais échoué Q7 est plus importante que celle qui a réussi Q7 mais échoué Q9.

Encadré 16. Question et fréquences des réponses relatives au pH et acidité

Question 10. Laquelle des solutions suivantes a le pH le plus élevé (+ justifier la réponse) :

- a. 15 mL d'une solution d'acide chlorhydrique 0.05M
- b. 15 mL d'une solution d'acide chlorhydrique 0.11M
- c. 15 mL d'une solution d'acide acétique 0.05M**
- d. 15 mL d'une solution d'acide acétique 0.11M

Fréquences des réponses

Assertion	a	b	c	d	abstention
Fréquence(%)	13,8	22,1	48,1	9,4	6,6

Près de la moitié des élèves interrogés (48,1%) ont trouvé la bonne réponse et nombreux parmi eux (33,2%) ont justifié ce choix par un calcul simple en appliquant les formules convenables de pH pour chaque solution. Parmi ceux qui ont trouvé les formules mathématiques appropriées et qui se sont trompés, on distingue deux catégories : des élèves qui ont mal appliqué la fonction logarithme et ceux qui n'ont pas été capables de bien comparer les valeurs de pH après calcul. D'autres n'ont pas été capables de fournir la bonne réponse par ignorance des formules à appliquer. On pouvait lire sur certaines copies : « j'ai oublié la formule, monsieur ! ». Personne n'a eu l'idée d'exploiter la nature des acides et leurs concentrations pour arriver à une justification.

Encadré 17. Question et fréquences des réponses relatives à l'évolution du pH

Question 11. On ajoute progressivement une quantité de NaOH à de l'eau pure. Lequel des graphiques suivants représente correctement l'évolution du pH de la solution en fonction du volume de NaOH ajouté ? Justifier la réponse (voir les graphiques en annexe, question 11, test 2)

Fréquences des réponses

Assertion	a	b	c	d	abstention
Fréquence	23,8	47,0	13,3	12,7	3,3

Deux groupes d'élèves seraient sur la bonne voie en considérant que le pH augmente lorsque l'on ajoute une base à de l'eau pure. Il s'agit, d'une part, des élèves qui optent pour la première assertion et d'autre part, de ceux qui optent pour la seconde. Cependant, la bonne réponse a été trouvée par 47% des élèves. Tous basent leur choix sur le genre de la fonction : l'évolution du pH en fonction de la concentration est une fonction logarithmique ; ainsi, lorsqu'on ajoute du NaOH à de l'eau pure, la concentration $[OH^-] > [H^+]$ et donc le pH va passer progressivement de 7 à 14 (23,6%) ou le pH d'une base évolue entre 7 et 14 (12,7%). Les autres (10,7%) n'ont pas pu justifier leur choix.

D'autre part, les élèves qui ont choisi la première assertion (23,8%) considèrent que le pH est une fonction linéaire de pente positive : *" Il s'agit d'une solution de base forte ; sa courbe est linéaire et croissante"*. Les deux derniers groupes se sont trompés en considérant que le pH diminue lorsque la concentration en base augmente. Ainsi, Ceux qui ont choisi la troisième assertion (12,7%) la considèrent comme une fonction linéaire de pente négative et la quatrième comme fonction du logarithme de la concentration. On remarque également que les deux derniers groupes attribuent le pH 14 à de l'eau pure.

Ainsi trois difficultés se manifestent à ce niveau : (i) la méconnaissance de la formule mathématique du pH d'une solution basique en fonction de la concentration traduite par la confusion entre le pH et le pOH d'une solution, (ii) la difficulté à représenter géométriquement le pH en fonction de la base ajoutée ou à interpréter la courbe en

fonction des abscisses et des ordonnées en mettant en relief le phénomène étudié et (iii) la difficulté à établir un lien entre pH et force de l'acide ou sa concentration.

Encadré 18. Question et fréquences des réponses relatives au pH et caractère de la solution

Question 12. Voici trois tubes contenant des solutions de pH connu : I. pH = 2 II. pH = 13 III. pH = 7. Choisir parmi les réponses suivantes celle qui correspond à la bonne association :

	I	II	III
a.	acide faible	acide fort	solution neutre
b.	base forte	solution neutre	solution acide
c.	base forte	acide fort	solution neutre
d.	acide fort	base forte	solution neutre
e.	base forte	base faible	solution neutre

Fréquences des réponses choisies

Assertion	a	b	c	d	e	abstention
Fréquence	9,4	6,6	10,5	61,9	7,7	3,9

Un nombre important d'élèves (61,9%) a choisi la bonne réponse. Mais les autres assertions ont été choisies par pas mal d'élèves ce qui indique l'absence de critère objectif de choix de la réponse par ces élèves. Ainsi nombreux n'ont pas été capables de lier pH de la solution et la force d'acidité de l'acide ou de la base.

Encadré 19. Question et fréquences des réponses relatives au calcul de pH d'une solution

Question 13. La valeur approximative du pH d'une solution aqueuse d'acide chlorhydrique 10^{-8} M est : a. 8 b. 7 c. supérieure à 7 d. Légèrement inférieure à 7 Justifier la réponse

Fréquences des réponses

Assertion	a	b	c	d	abstention
Fréquence	29,8	12,2	3,9	48,6	5,5

Près de la moitié des élèves (48,6%) ont trouvé la bonne réponse (pH légèrement inférieur à 7). Les autres –les nombreux- se sont trompés. Certains (29,8%) ont appliqué directement la relation $\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$ pour calculer le pH de cette solution en considérant qu'il s'agit d'un acide fort.

D'autres (12,2%) ont considéré la part de l'eau pure et négligé ainsi l'apport de cet acide. Cependant, près de la moitié ont trouvé la bonne réponse et apporté le justificatif correct y relatif : le pH d'une solution acide est toujours inférieur à 7.

En effet, lorsque la concentration de l'acide fort est très faible, le pH de la solution doit tenir compte de l'apport de l'eau en ions H^+ ; d'où la concentration totale en ions H^+ est proche de $11 \cdot 10^{-7}$ M. Alors $\text{pH} = 6,96$, le bon justificatif acceptable au vu de la matière étudiée en classe.

- **Réaction de neutralisation (référence tests 2 & test 3)**

Dans cette section, nous présentons les résultats qui montrent comment les élèves apprécient la neutralisation complète d'un acide faible par une base forte ou d'une base faible par un acide fort.

Encadré 20. Question et fréquences des réponses relatives à la neutralisation

Question 6. Laquelle parmi les solutions suivantes exige plus de moles de NaOH pour sa neutralisation complète ? Justifier la réponse (référence au test 2).

- a. 1 mL d'une solution de HCl 0.01M
- b. 1 mL d'une solution de CH₃COOH 0.01M

Fréquences des réponses

Assertion	a	b	aucune	abstention
Fréquence	43,1	38,1	17,7	1,1

La majorité des élèves (81,2%) a opté pour l'une ou l'autre assertion proposée. Peu d'élèves (17,7%) ont proposé la bonne réponse et ont fourni la justification y relative : pour que la neutralisation soit complète, il faut que nombre de moles d'ions H⁺ soit égal au nombre de moles d'ions OH⁻ (la réaction se déroule équivalent par équivalent).

Parmi les raisons avancées, on note :

Pour le choix de l'assertion a :

- l'acide chlorhydrique est plus fort que l'acide acétique. Ainsi un acide plus fort exige plus de moles de base forte qu'un autre qui ne l'est pas.
- HCl est un acide alors que CH₃COOH ne l'est pas ; c'est une base. Alors la neutralisation d'un acide fort exige plus de base. Ces élèves considèrent l'acide acétique comme une base suite à la présence dans la formule soit du groupement OH qui le rapprocherait des hydroxydes, soit alors des éléments C, H et O qui composeraient une base selon les réponses des élèves à ce test.

Pour le choix de l'assertion b : CH₃COOH exige trois moles de NaOH ou une triple estérification pour sa neutralisation complète : la confusion est encore liée à la formule de l'acide acétique et surtout à sa dissociation (pensant qu'il s'agit d'un triacide). Il apparaît donc une grande difficulté liée à la compréhension de la concentration acide de l'acide acétique. D'où l'idée : un acide plus faible exige plus de mole de base forte pour sa

neutralisation complète qu'un autre qui ne l'est pas. D'autre part, les élèves confondent les trois types de réactions vues en chimie organique les deux dernières années : saponification, neutralisation et estérification.

Aucune réponse : chacune de deux solutions (ayant le même nombre de moles de H^+) exigent le même nombre de moles de NaOH pour sa neutralisation complète. Tous les élèves qui ont proposé cette réponse ont avancé ce justificatif.

Encadré 21. Question et fréquences des réponses relatives à la neutralisation

Question 4. Laquelle des solutions suivantes exige plus de moles de HCl pour sa neutralisation complète ? Justifier la réponse. (référence au test 3)

- a. 1 mL d'une solution de NaOH 0.01M
- b. 1 mL d'une solution de NH_3 0.01M

Fréquences des réponses

Réponse	a	b	Aucune
Fréquence (%)	38,7	14,9	46,4

Seulement 46,4% des élèves interrogés ont choisi la bonne réponse et apporté le justificatif y relatif. Certains de ceux qui ont opté pour les mauvaises réponses se sont justifiés de la manière suivante :

(a) NaOH est une base plus forte que l'ammoniac, elle exige un acide fort comme HCl pour sa neutralisation complète (20,4%) ; l'ammoniac n'est pas une base (6,1%).

(b) NH_3 est une base plus faible, elle exige plus de moles de HCl (5,5%) ;

La seconde justification pour l'assertion (a) montre que certains élèves ne reconnaissent pas NH_3 (l'ammoniac) comme base. Cette difficulté peut être due à la formule du composé non-conforme à celle des hydroxydes (auxquels les élèves sont habitués).

Par rapport à la question précédente posée au test 2, il y a une nette amélioration bien que la performance reste plus basse.

B. Performances

a. Performance au test 2

- Performance globale de réussite

Rappelons par ailleurs que les cotes attribuées prennent en compte aussi bien les réponses cochées que des justifications apportées au choix de ces réponses. L'écart observé entre les deux histogrammes dans chaque catégorie est dû à ces justificatifs. Les écarts entre deux histogrammes de la même catégorie est très faible. Cependant, il est relativement important pour des questions ayant trait à la compréhension qualitative de la réaction acide-base. Sans tenir compte de la question Q6, les résultats se présentent comme suit :

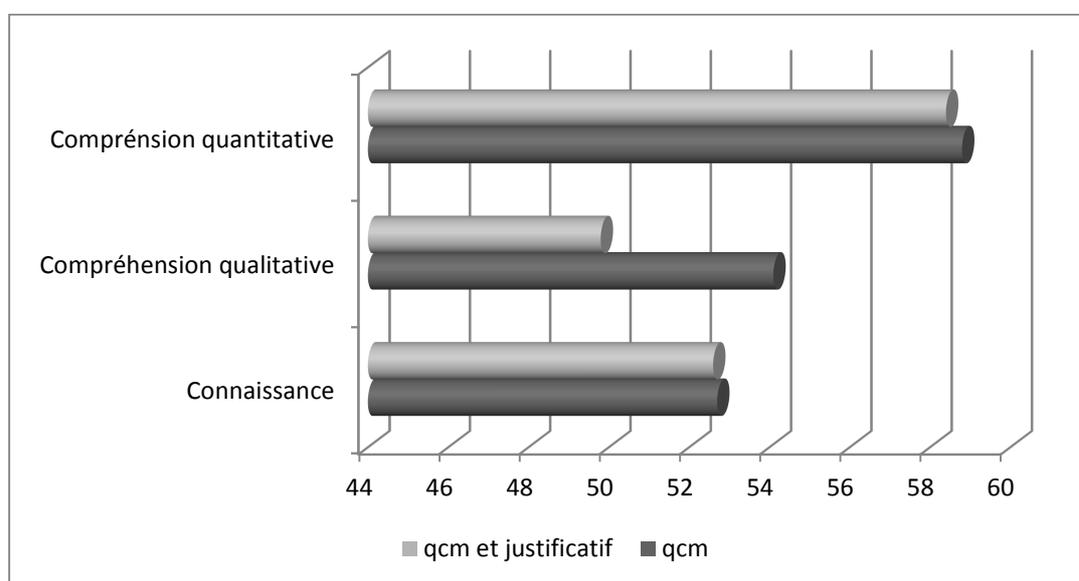


Figure 28. Performance des élèves par catégorie des questions

Le faible écart entre les histogrammes s'explique par le fait que la plupart des élèves qui ont coché la bonne assertion ont apporté le justificatif qu'il fallait.

Les fréquences de réussite globale telles que reprises sur la figure ci-dessous permettent de constater qu'au moins la moitié des élèves ont une bonne connaissance des concepts et une bonne compréhension des propriétés qualitatives de la réaction acide-base. Près de la moitié en ont la compréhension quantitative de la réaction acide-base.

Pour explorer une possible relation entre les catégories, nous avons déterminé les coefficients de corrélation de Pearson (tableau 45).

Tableau 45. Corrélations Pearson internes entre les différentes catégories au test 2

Catégorie	Connaissance des concepts-1	Compréhension quantitative-1	Compréhension qualitative-1	Mode d'interaction
Connaissance des concepts-1	1			
Compréhension quantitative-1	,522(**)	1		
Compréhension qualitative-1	,296(**)	,372(**)	1	
Mode d'interaction	-,548(**)	-,528(**)	-,436(**)	1

** Corrélation est significative au seuil 0.01

Les résultats indiquent que les catégories sont en corrélation significative et positivement les unes des autres. On observe une forte corrélation entre la compréhension quantitative et la connaissance des concepts. Elle est faible entre cette dernière catégorie et la compréhension qualitative. Cela implique que les élèves qui ont une bonne connaissance des concepts et présentent une bonne compréhension quantitative et une compréhension qualitative relativement faible de la réaction acide-base. Cependant, le mode d'interaction et les différentes catégories sont en corrélations significativement négatives à cause de la différence de performance importante entre les deux groupes d'élèves : le groupe interactif a acquis une bonne connaissance ou compréhension de la réaction acide-base tandis que le groupe autonome n'en a pas acquis. Dans ce cas, la connaissance/compréhension de la réaction acide-base est davantage favorisée par l'interaction professeur-élèves au cours des travaux pratiques.

- ***Performance selon les styles d'apprentissage des élèves***

Vu le nombre faible des styles dits intermédiaires, nos commentaires ne se focalisent que sur les styles dominants. Ces conclusions pourraient être étendues aux élèves ayant des styles intermédiaires mutatis mutandis. Les performances globales des élèves selon le groupe de style d'apprentissage sont voisines et se rapprochent de 50% de réussite pour chacune de trois catégories : soit 49,9% pour Méthodiques réflexifs ; 53,3% pour Méthodiques pragmatiques ; 49,7% pour Intuitifs réflexifs et 52,6% pour Intuitifs pragmatiques.

- Connaissance des concepts

Les élèves pragmatiques (MP – IP) ont des performances qui dépassent 50% alors que les réflexifs sont en deçà. Les intuitifs réflexifs présentent la plus faible performance.

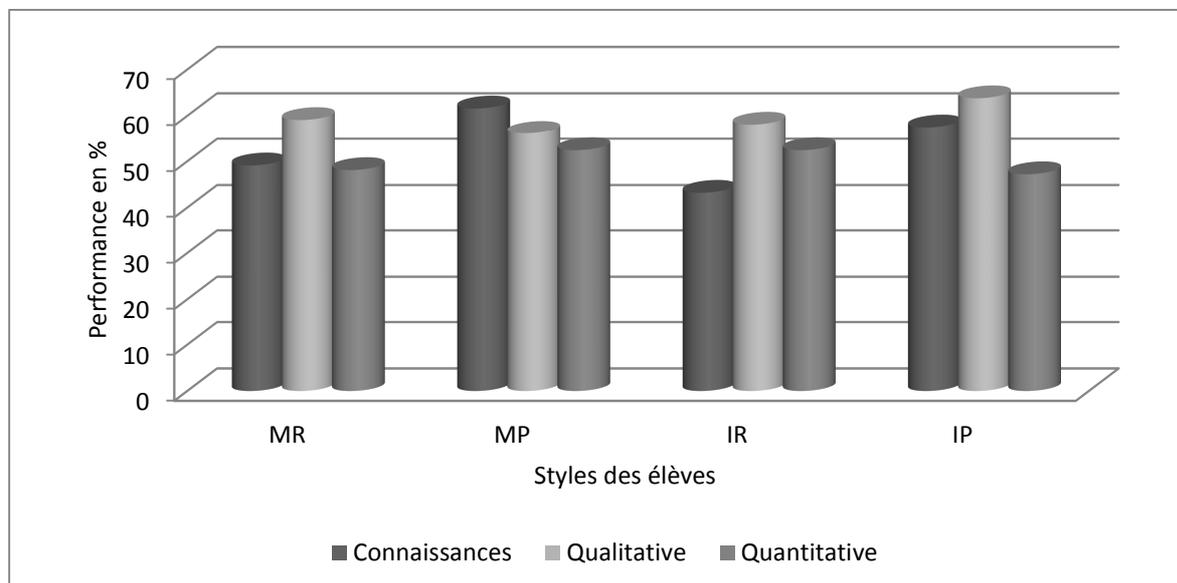


Figure 29 . Performance des élèves au test 2 selon leurs styles d'apprentissage

- Compréhension qualitative de la réaction acide-base

De manière globale, les quatre types de styles présentent des performances bonnes et voisines. Ils ont donc une bonne compréhension des propriétés qualitatives de la réaction acide-base. Cependant, les intuitifs pragmatiques présentent la performance la plus élevée avoisinant 60%.

- Compréhension quantitative de la réaction acide-base

- pH des solutions

Quatre styles pris deux à deux présentent des performances similaires. En effet, les méthodiques pragmatiques et intuitifs réflexifs ont des performances proches qui avoisinent 50%. Par contre, les performances de méthodiques réflexifs et Intuitifs pragmatiques bien que voisines sont en dessous de 50%. Ainsi les premiers présentent une bonne compréhension du pH des solutions par rapport aux seconds. Cependant, on enregistre des faibles performances sur la représentation graphique du pH d'une solution en fonction de l'évolution de la concentration.

- Réaction de neutralisation

Nombreux sont les élèves qui n'ont aucune compréhension de la réaction de neutralisation. En revanche, parmi ceux qui manifestent une bonne compréhension de la réaction de neutralisation, nous pouvons constater que les méthodiques réflexifs ont la performance la plus faible de toutes les autres ; ces dernières très proches avoisinent 20%.

Si aucune corrélation significative n'a été observée entre les variables générales telles que le genre et les styles d'apprentissage des élèves, on observe cependant que le mode d'interaction est en forte corrélation mais négativement avec les différentes catégories. Ce résultat négatif suggère que les élèves qui interagissent avec le professeur ont une bonne compréhension de la réaction acide-base et le groupe autonome en a une mauvaise compréhension.

- ***Effet TP1 sur la performance***

Le groupe autonome nous permet de vérifier l'effet de la réalisation des travaux pratiques sur l'appropriation du concept de réaction acide-base par les élèves. La performance moyenne de ce groupe passe de 12,7 au premier test à 33% au second test. La statistique t nous indique que la différence entre les deux moyennes est significative [groupes appariés : $t(89) = 5,851$; $p = 0.000$]. Ce qui nous pousse à conclure que la réalisation des travaux pratiques a eu un effet significatif sur la connaissance des concepts acide – base.

- ***Effet interaction professeur – élèves sur la performance***

Le groupe autonome et le groupe interactif ont au départ le même niveau d'acquisition des connaissances et se retrouvent dans les mêmes conditions de travail. La seule différence ici est la guidance du professeur. Rappelons que chaque professeur devrait interagir avec ses élèves. On passe d'une moyenne de 12,7 % au test 1 à la moyenne de 72,2% pour le groupe interactif au test 2 pour la connaissance des concepts. Les cotes moyennes obtenues par les élèves dans chaque groupe et pour chaque catégorie des questions sont indiquées dans le tableau 46.

Tableau 46. Valeurs statistiques relatives aux cotes obtenues selon la catégorie des questions

Catégories	mode	Moyenne	Ecart-type	Ecart moyen
Connaissance des concepts-1	interactif	,72	,323	,034
	autonome	,33	,276	,029
Compréhension qualitative-1	interactif	,70	,220	,023
	autonome	,47	,258	,027
Compréhension quantitative –pH (1)	interactif	,69	,253	,027
	autonome	,39	,245	,026
Compréhension neutralisation (1)	interactif	,27	,449	,047
	autonome	,08	,269	,028

Comme le prouvent les résultats, les moyennes de réussite du groupe interactif sont plus proches pour les trois catégories et avoisinent 70%. Par contre, la fréquence de réussite du groupe autonome est dans toutes les catégories inférieures à 50%. Ainsi, la moyenne de réussite du groupe interactif est de loin supérieure à celle du groupe autonome. Elle vaut plus du double pour la connaissance des concepts et près du triple pour la réaction de neutralisation.

Pour la réaction de neutralisation, la moyenne est la plus faible. Cette faible réussite pourrait se justifier par le fait que les manipulations n'ont eu aucune influence car elles ne sont pas appropriées. Le seul élément qui a travaillé, c'est l'influence du professeur. Cette question nous informe également sur le niveau d'acquisition des connaissances par les élèves après avoir suivi les différentes leçons.

D'autre part, dans le tableau 47 nous présentons les valeurs statistiques. Les tests statistiques sont appliqués selon les différentes catégories : connaissance des concepts, la compréhension qualitative et la compréhension quantitative.

Le test de Levene fournit des seuils de signification supérieurs à 0,05 pour les catégories « compréhension qualitative » et « mesure de pH » ce qui conduit à l'égalité des variances. Les faibles valeurs de seuil de deux autres catégories indiquent l'inégalité des variances. D'où les valeurs de t et de p retenues.

Tableau 47. Valeurs des statistiques F et t relatives à la comparaison des groupes d'élèves (Échantillons indépendants)

Catégories des items	Test de Levene Egalité des Variances		test t pour la comparaison des moyennes						
	F	Sig.	t	df	p (seuil)	Différence moyenne	Ecart moyen	95% Confiance Intervalle	
								Min	Max
Connaissance des concepts-1	10,424	,001	8,781	175,29 7	,000	,392	,045	,304	,480
Compréhension qualitative-1	3,103	,080	6,482	179	,000	,231	,036	,161	,301
Compréhension quantitative- pH (1)	1,584	,210	8,064	179	,000	,299	,037	,226	,372
Réaction – neutralisation (1)	63,599	,000	3,584	147,66 5	,000	,197	,055	,088	,306

D'autre part, les valeurs de seuils de signification ($p = 0,000$) indiquées dans le tableau suivant prouvent que la différence des moyennes de réussite entre les deux groupes d'élèves est significative. Une forte différence entre les moyennes de deux groupes est observée pour la première catégorie.

La statistique t nous indique que la différence entre les deux moyennes est significative [$t(179) = 8,781$; $p = 0.000$] et donc l'interaction des élèves avec le professeur a un effet positif et élevé sur leur performance. On conclut donc que l'interaction avec le professeur facilite plus l'acquisition des connaissances selon le modèle de Bronsted au cours des manipulations.

Un autre fait remarquable est la valeur du seuil de signification pour la catégorie "réaction de neutralisation". En effet, nous avons déjà indiqué que les travaux pratiques TP1 ne sont pas appropriés à la compréhension de la réaction acide-base. Si la valeur faible de la performance des élèves à cette question est comprise comme l'apport faible de l'enseignement théorique, en revanche l'écart important et significatif observé est interprété comme le résultat de l'effet remarquable de l'interaction professeur-élèves. Ainsi l'interaction favorise la compréhension des propriétés qualitatives et quantitatives liées à la réaction acide-base.

On pourrait justifier ce résultat par le fait que les élèves qui ont reçu les explications du professeur se sont bien comportés à cette question par rapport à leurs homologues qui n'ont eu aucune assistance. Nos prédécesseurs (Ayhan, 2004 & Naija, 2004) basant leurs

études sur le changement conceptuel ont trouvé des résultats similaires : une performance dans l'appropriation des concepts. La différence ici est qu'il n'y a pas de texte préalablement proposé ni des situations particulières présentées aux élèves pour provoquer ce changement conceptuel à part la description du protocole expérimentale tel que prévu par le programme et l'interaction avec le professeur-élève. En revanche, l'interaction est provoquée par les élèves là où ils trouvent des difficultés à comprendre ou à réaliser les travaux pratiques proposés. Notons que les élèves étaient très motivés et ne voulaient pas rater l'unique occasion offerte au cours de leur scolarité de réaliser les travaux pratiques.

- ***Effet combiné TP1 et interaction sur la performance***

On peut établir une performance interne pour le groupe interactif en comparant sa situation actuelle à sa situation de départ. En effet, pour le groupe interactif, deux éléments s'ajoutent : la réalisation des travaux pratiques et l'interaction professeur-élèves.

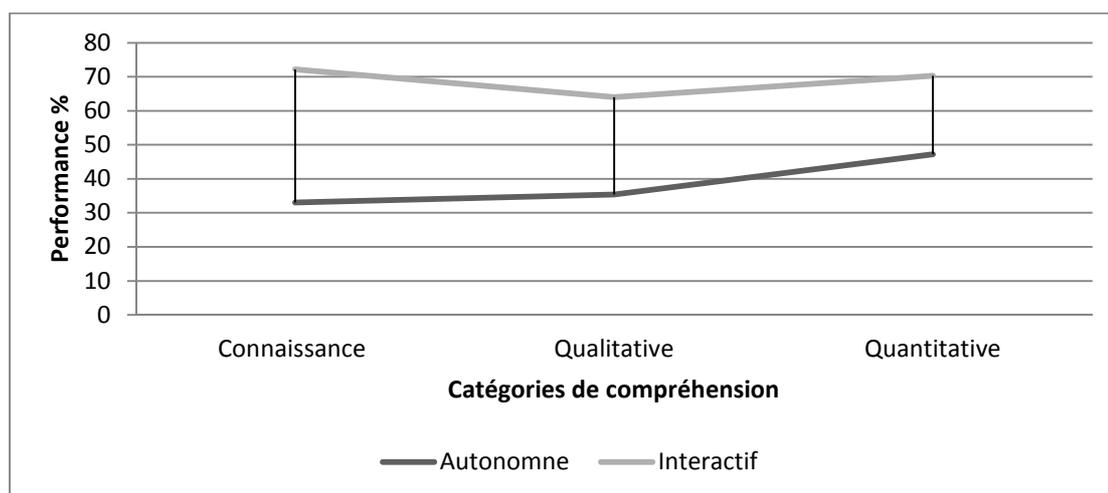


Figure 30. Evolution de la performance selon les catégories au test -2

Le groupe interactif est performant par rapport au groupe autonome. L'écart entre les performances de deux groupes, l'un par rapport à l'autre, est plus élevé aux catégories de la connaissance des concepts et de la compréhension qualitative de la réaction acide – base. Cependant, le groupe interactif connaît une légère baisse de performance de la connaissance des concepts aux autres catégories : elle diminue brutalement de la connaissance à la compréhension qualitative et s'élève légèrement à la compréhension quantitative. Par contre, pour le groupe autonome, la performance augmente de la connaissance des concepts aux autres catégories : basse au départ, elle s'élève

continuellement jusqu'à la compréhension quantitative. La progression entre les deux dernières catégories suit la même allure que celle du groupe interactif.

Cette allure de progression entre les deux catégories de compréhension presque identique pour les deux groupes de travail est un indice que les travaux pratiques ont un effet positif sur la compréhension de la réaction acide – base.

b. Performance au test 3

- Performance globale de réussite

Après la seconde séance des travaux pratiques, la performance des élèves présente deux tendances selon les différentes catégories de la réaction acide-base : la réaction de neutralisation et l'identification d'un acide ou d'une base de Bronsted ont des valeurs basses et voisines de 24% et la compréhension des propriétés qualitatives a obtenu les valeurs les plus élevées et voisines de 40%. Mais globalement, toutes ces valeurs –bien que différentes– sont faibles. Même les écart-type sont supérieurs à ces moyennes, ce qui témoigne encore de la faiblesse de ces moyennes.

Tableau 48. Valeurs statistiques relatives aux cotes obtenues selon la catégorie des questions

Catégorie	Nombre d'items	Moyenne	Écart-type
Connaissance des concepts-2	3	24,40	24,627
Compréhension qualitative-2	11(total)	38,26	26,297
	9 ouvertes	39,779	30,113
	2 qcm	36,740	37,872
Réaction de neutralisation-2	1	23,20	25,005

Ainsi, la performance globale est très faible. Cette faible performance est due probablement à l'enseignement reçu qui n'aurait pas pu focaliser son attention sur le modèle de Bronsted, spécialement le couple acide-base conjuguée.

- Performance selon les styles d'apprentissage

- Connaissance des concepts : près du cinquième des méthodiques réflexifs et des intuitifs réflexifs ainsi que près du tiers des méthodiques pragmatiques ont une bonne connaissance des concepts.

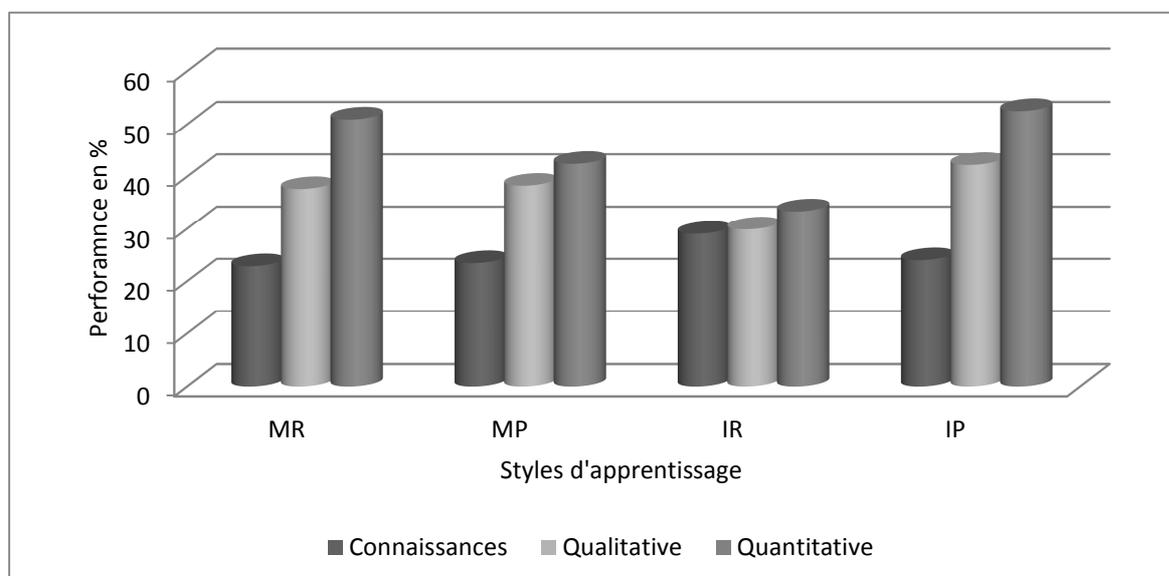


Figure 31. Performance des élèves au test 3 selon leurs styles d'apprentissage

- Compréhension qualitative : 42,2% des intuitifs pragmatiques présentent une bonne compréhension de la réaction acide-base. C'est une performance plus élevée par rapport à celles obtenues par les autres groupes de styles.
- Réaction de neutralisation : près de la moitié des méthodiques réflexifs et les intuitifs pragmatiques présentent une bonne compréhension de la réaction de neutralisation. Les intuitifs réflexifs ont la plus faible compréhension de la réaction de neutralisation.

- ***Performance selon le mode d'interaction des élèves***

Tableau 49. Valeurs statistiques relatives aux cotes obtenues selon la catégorie des questions

Groupes Statistiques

Catégorie	mode	Moyenne	Écart-type	Écart-moyen
Connaissance des concepts-2	autonome	17,77	21,053	2,207
	interactif	31,11	26,228	2,765
Compréhension qualitative-2	autonome	28,85	23,482	2,462
	interactif	47,78	25,666	2,705
Réaction de neutralisation-2	autonome	17,58	24,007	2,517
	interactif	28,89	24,834	2,618

Échantillons indépendants

Tableau 50. Valeurs des statistiques F et t relatives aux variances et aux moyennes par catégorie

catégories	Test de Levene pour égalité des variances		Test-t pour l'égalité des moyennes						
	F	Sig.	t	df	p (seuil)	Différence moyennes	Ecart-moyen	95% confiance Intervalle	
Connaissance des concepts-2	8,245	,005	-3,773	170,217	,000	-13,346	3,537	-20,329	-6,363
Compréhension qualitative-2	1,378	,242	-5,178	179	,000	-18,932	3,656	-26,146	-11,717
Neutralisation-2	3,500	,063	-3,114	179	,002	-11,306	3,631	-18,471	-4,142

Les résultats de la statistique repris dans le tableau 50, indiquent que pour le seuil de signification du test de Levene de la catégorie « connaissance des concepts » est inférieur à 0,05. Par contre pour les deux autres catégories, nous avons des valeurs supérieures à 0,05. Cela veut dire que dans le premier cas, nous avons des variances inégales tandis que dans le second, les variances sont égales. D'où les valeurs de t et p retenues pour le cas des variances non homogènes.

D'autre part, ces tableaux indiquent également une différence significative dans la compréhension de la réaction acide-base entre le groupe interactif et le groupe autonome. Ainsi, les élèves guidés ont une meilleure compréhension par rapport aux élèves autonomes. Cette différence est davantage plus importante à la catégorie des questions relatives à compréhension qualitative de la réaction acide-base.

Tableau 51. Corrélations Pearson internes entre les différentes catégories au test 3

Catégorie	Connaissance-2	Compréhension qualitative-2	Neutralisation-2	Mode d'interaction
Connaissance des concepts-2	1			
Compréhension qualitative-2	,414(**)	1		
Neutralisation-2	,248(**)	,228(**)	1	
Mode d'interaction	,272(**)	,361(**)	,227(**)	1

** Corrélation est significative au seuil 0,01

Nous avons une corrélation significative au seuil 0,01 entre les différentes catégories des réponses ce qui implique l'existence de groupes d'élèves qui ont à la fois une bonne

compréhension des concepts, une bonne compréhension qualitative et une bonne compréhension quantitative de la réaction acide-base.

Aucune corrélation n'a été observée entre les variables générales telles que le genre, les styles d'apprentissage... des élèves et les différentes catégories des questions/réponses proposées. Par contre, le mode d'interaction corrèle significativement et positivement avec les différentes catégories des réponses ce qui implique que la compréhension de la réaction acide-base est acquise aussi bien par le groupe autonome que par le groupe interactif. Dans ce cas, le progrès réalisé par les deux groupes dans la compréhension de la réaction acide-base est davantage dû à la réalisation des travaux pratiques.

- **Effet combiné des variables TP2 et interaction sur la performance**

La figure 32 montre que la performance en compréhension qualitative est élevée par rapport aux autres catégories. L'écart entre les performances des deux groupes d'élèves reste important. Le TP2 semble avoir eu un effet positif important sur la compréhension qualitative par rapport aux autres catégories.

Au TP 2, le double effet interaction – TP est réduit et très faible : le groupe autonome-interactif stagne et garde plus ou moins sa performance. L'effet interaction semble avoir stabilisé ce groupe et l'avoir rendu plus performant que le groupe interactif autonome.

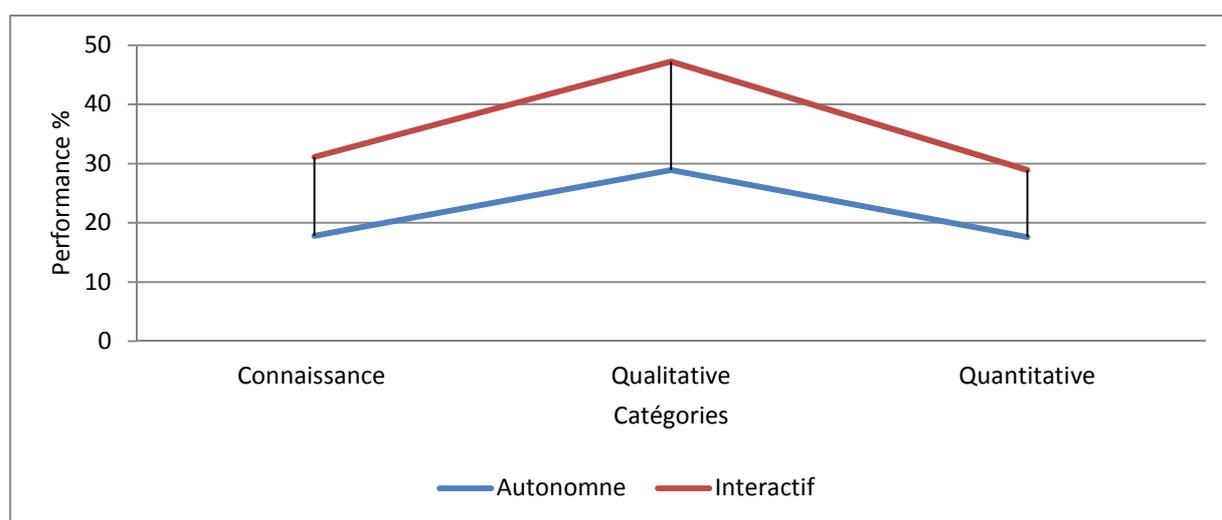


Figure 32. Evolution de la performance selon les catégories au test -2

Mais vu la faible performance à ce test, on confirme que les TP2 ne se sont pas avérées appropriées pour faire acquérir à ces élèves de manière importante la connaissance de ces

concepts, identification des acides et des bases et seules leurs connaissances après avoir réalisé le premier travail, auraient influencé cette nouvelle connaissance. Il pourrait être intéressant de savoir si ce groupe pouvait avoir cette performance avant de faire ce TP 2 ou avant d'interagir.

c. Performance globale aux tests

- Evolution de la connaissance des concepts

La figure 33 indique l'évolution de la performance (note représentant le changement conceptuel) du groupe interactif par rapport au groupe autonome.

Comme l'indique la figure à l'issu du TP1, il y a un accroissement de 39,2% en faveur du premier groupe interactif pour la définition des acides ou bases de Bronsted. Ce dernier devenant autonome soit interactif-autonome au TP2 régresse brutalement de 54,4% pendant que le second groupe interactif soit autonome-interactif régresse de 1,9% pour l'identification d'un acide ou d'une base de Bronsted.

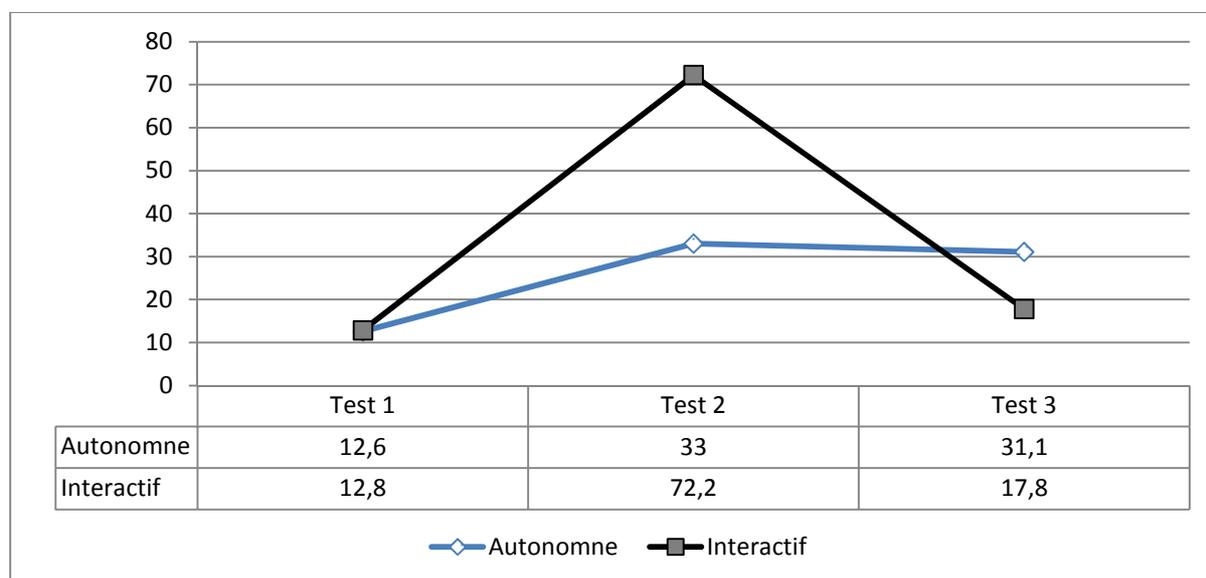


Figure 33. Evolution de la connaissance des concepts par les groupes d'élèves aux trois tests

L'écart entre les deux groupes étant de 13,3% au test 3 en faveur du groupe interactif. Cette figure indique d'une part que la définition des concepts paraissait plus facile que l'identification des exemples y relatifs et d'autre part, que les élèves devraient réaliser les travaux pratiques sous le guide du professeur pour être plus performant.

- Evolution générale de la performance

Sur la figure 34, on observe des allures différentes des courbes : un écart séparant clairement les deux groupes d'élèves, la performance du groupe interactif étant toujours la meilleure par rapport à celle attribuée au groupe autonome.

Mais on observe également une bonne évolution du groupe autonome (montée d'une catégorie à l'autre) et une regression du groupe interactif (une chute de performance dans les catégories).

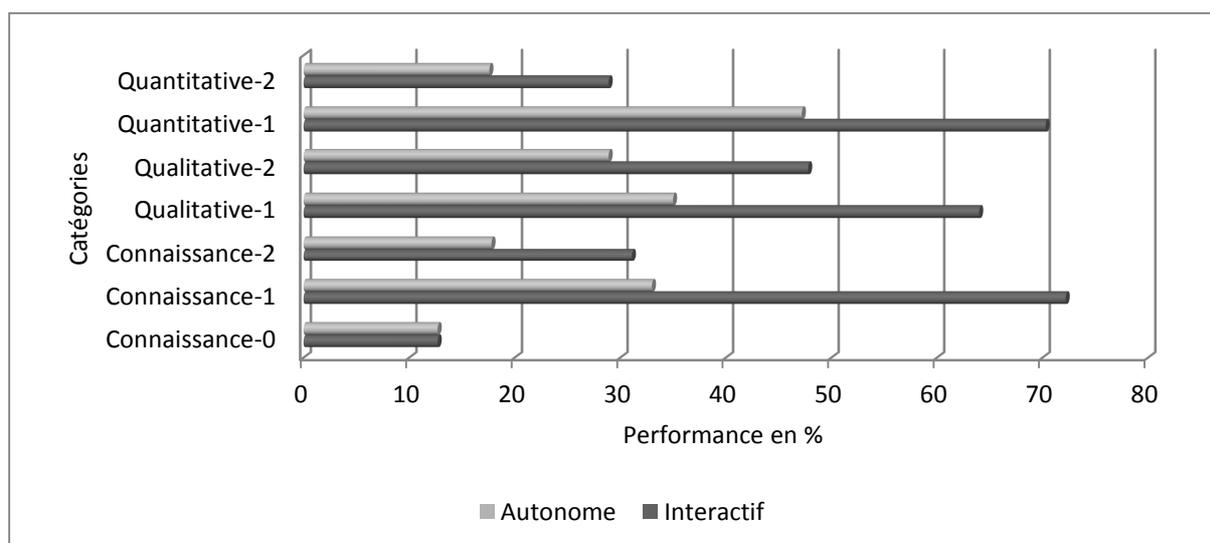


Figure 34. Variation de la performance aux différents tests

Sur cette figure, on peut lire un écart important des performances relatives à la connaissance des concepts de base (définition des concepts). Il s'affaiblit quand il s'agit d'identifier des exemples, redevient important pour la compréhension qualitative après la réalisation des TP1 pour se retrouver en régression lors de la compréhension quantitative de la réaction acide - base. La réalisation du TP2 semble n'avoir pas été efficace pour aider les élèves à identifier les exemples d'acide ou de base de Bronsted mais non plus à comprendre quantitativement la réaction acide-base.

Les résultats présentés précédemment prouvent que la réalisation des travaux pratiques au cours de l'enseignement est un moyen efficace pour aider les élèves à s'approprier la réaction acide - base selon la conception de Bronsted mais pour être plus efficace les élèves devraient être guidés par le professeur.

C. Progrès réalisés à l'issue du travail pratique TP1

A l'issue de la première séance de travail pratique TP1, les progrès réalisés sur la connaissance des concepts selon le modèle de Bronsted a consisté en un transfert des groupes d'élèves, à une appropriation progressive et une acquisition des concepts.

a. Transfert des groupes d'élèves

Les tableaux 52, 53 & 54 sont construits par croisement des fréquences des réponses fournies par les élèves au test 1 et au test 2. Ils illustrent le cas de la progression des groupes d'élèves dans l'appropriation du savoir, passant progressivement d'un palier à un autre, d'un niveau faible à un niveau supérieur jusqu'à atteindre le niveau souhaité.

1° Conceptions sur l'acide :

Tableau 52. Fréquences des élèves ayant changé de conception d'acide après TP1

		Test 2		
		Autres	Arrhenius	Bronsted
Test 1	Autres	10	25	50
	Arrhenius	8	9	29
	Bronsted	2	9	39
		20	43	118

La majorité des élèves (65,7%) optent pour la conception de Bronsted après la manipulation. Une faible portion opte pour les autres conceptions après manipulation.

En effet, on remarque un dépeuplement du groupe dit "autres conceptions" initialement majoritaire en faveur de la conception de Bronsted (plus de la moitié) et de celle d'Arrhenius (proche du quart). L'analyse des données montre que le groupe qui a bien répondu est composé en partie du groupe qui a interagi avec le professeur (43,1%) et du groupe autonome (22,6%). Le groupe interactif étant donc le plus important en nombre.

2° Conception de la base :

Initialement, deux conceptions prédominent : la conception d'Arrhenius et les conceptions alternatives.

Tableau 53. Fréquences des élèves ayant changé de conception de base après TP1

		Test 2		
		Autres	Arrhenius	Bronsted
Test 1	Autres	16	35	31
	Arrhenius	14	39	38
	Bronsted	1	3	4
		31	77	73

Après manipulation, on observe plutôt la prédominance en proportions égales des conceptions d'Arrhenius et de Bronsted. Cependant la conception de Bronsted connaît une adhésion massive spectaculaire par rapport à la situation initiale (proportion neuf fois plus grande que ce qu'elle était initialement). L'explication de la proportion élevée en conception d'Arrhenius serait due aux types de bases étudiées aussi bien en classe pendant les leçons qu'au cours des travaux pratiques. Pendant les leçons, les bases fortes sont quasi toutes conçues sous le modèle Arrhenius.

C'est le cas de l'hydroxyde de sodium, de l'hydroxyde de potassium, de l'ammoniac (étudié sous forme d'hydroxyde d'ammonium). Les travaux pratiques exploitant des sels basiques comme le bicarbonate de sodium, l'acétate de sodium ou du sel acide comme le chlorure d'ammonium doit avoir convaincu certains élèves du groupe autonome à adhérer à la conception de Bronsted (15 individus soit 8%, 11 sujets de plus) et la tendance se renforce par l'influence du professeur sur le groupe guidé (58 individus soit 32%, 20 individus de plus par rapport à la situation initiale).

3° Conception sur la réaction acide-base

Une partie importante d'élèves a conçu la réaction acide-base comme étant un transfert de proton (la partie la plus importante) ou une réaction qui consiste en la formation du sel et de l'eau.

Tableau 54. Fréquences des élèves ayant changé de conception de « réaction acide-base » après TP1

		Test 2			
		Autres	Sel	Sel + eau	Transfert
Test 1	Autres	15	6	40	67
	Sel	1	0	7	6
	Sel + eau	0	6	8	14
	Transfert	0	0	2	9
		16	12	57	96

L'explication actuelle de la tendance générale des élèves à considérer cette réaction comme formant le sel et l'eau pourrait s'expliquer par les faits suivants : la majorité ayant au départ des conceptions alternatives de la réaction acide-base sont orientés vers la formation du sel et de l'eau suite aux exemples enseignés en classe et aux manipulations (acides hydrogénés et hydroxydes sont les plus utilisés). La neutralisation est le seul type de réaction considérée comme réaction acide-base (les autres types de réaction acide-base étant ignorés ou non abordés comme tel) et l'absence d'une explication supplémentaire du professeur.

Notons qu'au cours de nos instigations, la formation du sel et le transfert n'étaient initialement envisagés que par très peu d'élèves. Après ces travaux pratiques et sous le guide du professeur, une partie des élèves - la grande partie de ceux qui ont opté pour la conception de Bronsted pour l'acide et la base- ont préféré s'approprier le transfert de proton pendant que ceux qui ont choisi la conception d'Arrhenius pour l'acide ou la base ont opté pour la formation du sel (ancienne conception). A la lecture du tableau précédent, nous nous rendons compte que la majorité des élèves qui avaient au départ d'autres conceptions, a opté pour la formation du sel et de l'eau ou pour le transfert de proton.

b. Appropriation progressive de la conception de Bronsted

La figure 35 qui présente la progression de l'appropriation du savoir peut être lue comme suit : pour les acides et les bases, il y a trois niveaux : le mauvais (autres), l'assez bon (Arrhenius) et le bon (Bronsted). Pour la réaction acide-base, il y a quatre niveaux : le mauvais (autres), l'assez bon avec deux sous-niveaux (sel puis sel et eau) et le bon (transfert

de proton). Elle décrit l'existence des groupes d'élèves qui progressent dans l'appropriation du savoir : ils quittent le niveau mauvais vers le niveau bon (Giordan & de Vecchi, 1990 ; Jonnaert, 2002)

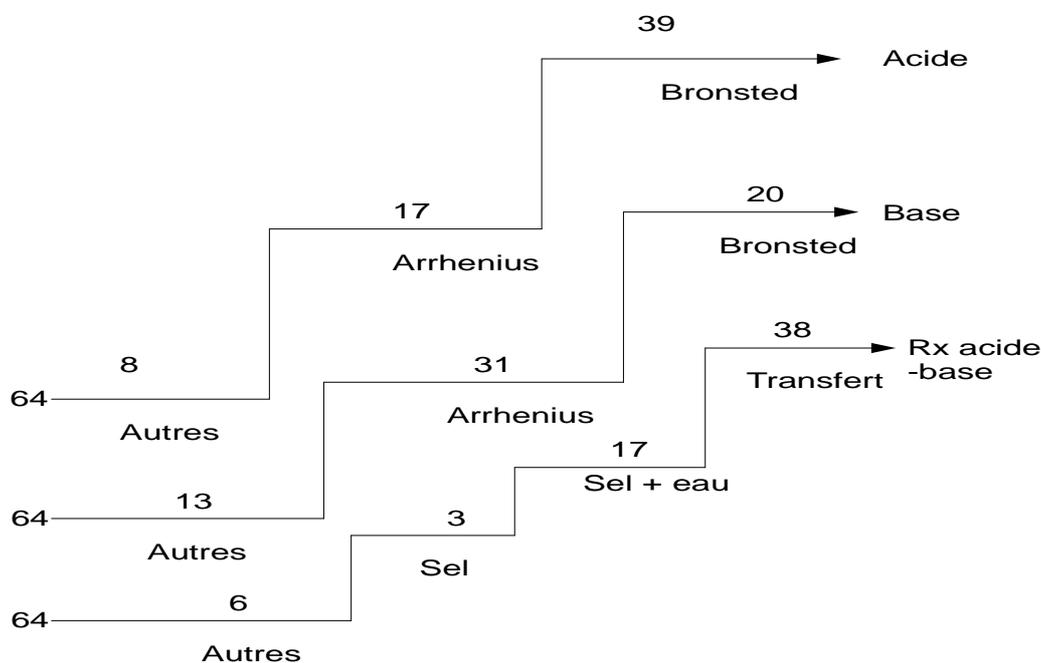


Figure 35. Progression dans l'appropriation du savoir

Nous avons initialement 64 élèves qui avaient une mauvaise connaissance de la réaction acide-base, donc des fausses conceptions sur les trois concepts. Après les manipulations de laboratoire, leurs conceptions changent et ils se répartissent en trois nouveaux groupes : le groupe à fausses conceptions (négligeable en nombre), le groupe à conceptions intermédiaires, particulièrement celle d'Arrhenius, et le groupe à conceptions souhaitées, la conception de Bronsted. Ce dernier groupe est majoritaire. L'adhésion massive observée à la conception de Bronsted est incontestablement le résultat combiné de deux effets : l'effet des travaux pratiques et l'effet de l'interaction professeur-élève.

Une telle progression dans la construction du savoir a été prouvée par Solominidou & Stavridou (1998) dans le cas de la construction du concept de réaction chimique par les élèves âgés de 12 à 18 ans. Les travaux pratiques appuyés par l'explication du professeur possèdent donc cette possibilité de mobiliser des groupes d'élèves qui changent de conceptions et adhèrent à des nouvelles conceptions plus sensées à leurs yeux. Ce cas témoigne également le fait que le savoir se construit donc par approximations successives

et s'intègre à la connaissance générale sous forme de paliers d'intégration, de montées de marches d'escalier en dépit des résistances, des idées préconçues, des habitudes, des évidences premières (Jonnaert,2002).

c. Acquisition des concepts d'acidité selon le modèle de Bronsted

Dans les tableaux 55 & 56, on présente la performance réalisée en termes des concepts acquis au test 1 et au test 2 selon le modèle de Bronsted. Le premier tableau indique le partitionnement des élèves suivant les degrés d'acquisition des concepts alors que le second indique le progrès réalisé ou la distance parcourue par les élèves avoir réalisé les travaux pratiques en autonomie ou en interaction avec le professeur.

Tableau 55. Partitionnement des élèves suivant les degrés d'acquisition des concepts de Bronsted.

Concept acquis	Test 1		Test 2			
	Fréquence brute	%	Groupe interactif		Groupe autonome	
			F. brute	%	F. brute	%
Aucun	128	70,7	5	5,5	27	30
Acide uniquement	37	20,4	18	19,8	22	24,4
Acide et base	5	2,8	6	6,6	2	2,2
Acide et réaction acide-base	5	2,8	8	8,8	12	13,3
Base uniquement	0	0	1	1,1	5	5,6
Base et réaction acide-base	0	0	5	5,5	4	4,4
Réaction acide – base uniquement	3	1,7	2	2,2	14	15,6
Acide, base et réaction acide-base	3 (1 & 2)	1,7	46	50,5	4	4,4
Total	181	100	91	100	90	100

Dans ce tableau pour chaque test, la première colonne indique la fréquence brute (le nombre des réponses correctes) et la seconde la proportion que représente cette fréquence par rapport au nombre de participants. Un écart assez remarquable se révèle entre les deux groupes lorsqu'il faut considérer les associations des concepts suivants : base uniquement, réaction acide et base uniquement, tous les concepts. Initialement 1,7% d'élèves avaient acquis les trois concepts selon le modèle de Bronsted. Après les travaux pratiques, la situation s'est améliorée : 4,4% des élèves du groupe autonome et 50,5 % des élèves appartenant au groupe guidé. Aussi nombreux sont les élèves non guidés qui n'ont acquis

aucun concept par rapport à leurs homologues guidés ce qui témoigne davantage du rôle joué par le professeur.

d. Détermination du progrès réalisé par croissance normalisée

Hake (cité par Mayer, 2011) a rapporté qu'utiliser la croissance normalisée serait la voie indiquée pour analyser le progrès réalisé au moyen des tests. La formule de normalisation utilisée est la suivante : Croissance normalisée (**g**) = **(post% - pre%) : (100% - pre%)** (Mayer, 2011, p. 114), où Post% et Pre% représentent respectivement le pourcentage des réponses correctes au post-test et le pourcentage des réponses correctes au prétest.

L'équation de normalisation qui établit la relation entre le post-test et le prétest est une équation linéaire qui décrit les progrès effectués (distance parcourue) par le groupe testé par rapport à sa situation initiale.

Dans le tableau 56, nous marquons en **gras** les valeurs les plus importantes du progrès réalisé dans l'acquisition des concepts. Les valeurs négatives indiquent une régression au post-test par rapport à la situation initiale. Les valeurs indiquées au prétest sont des valeurs moyennes étant entendu que nous avons montré précédemment que la performance au test 1 pour les deux groupes était la même.

Tableau 56. Progrès réalisés dans l'acquisition des concepts selon Bronsted au post-test

Concept acquis	pre% initial	post% interactif	post% autonome	Acquis% interactif	Acquis % autonome
Aucun	70,7	5,5	30	-222,7	-139
Acide uniquement	20,4	19,8	24,4	-0,8	5
Acide et base	2,8	6,6	2,2	3,9	-1
Acide et réaction acide-base	2,8	8,8	13,3	6,2	10,9
Base uniquement	0	1,1	5,6	1,1	5,6
Base et réaction acide-base	0	5,5	4,4	5,5	4,4
Réaction acide – base uniquement	1,7	2,2	15,6	0,6	14,1
Acide, base et réaction acide-base	1,7	50,5	4,4	49,7	2,8

Les valeurs de croissance en faveur d'aucun concept sont négatives pour le groupe interactif ce qui indique une réduction du nombre d'individus appartenant à cette catégorie. Elles sont en valeur absolue très élevées ce qui indique également un dépeuplement massif. Ainsi, les élèves ont quitté massivement la catégorie d'ignorance vers les catégories de la

connaissance du modèle de Bronsted. Aussi, la fréquence en faveur de l'acide uniquement est la plus élevée de toutes au prétest. Cependant, au post-test, elle devient très faible. Le tableau indique après les travaux pratiques une régression importante en faveur de l'acide uniquement : ces élèves semblent avoir opté davantage pour l'acide et un autre concept en l'occurrence la réaction acide-base (progrès) et un autre groupe appartenant à cette catégorie s'est orienté vers les mauvaises conceptions (effet négatif) en quittant définitivement cette catégorie.

Comparativement au groupe autonome, le groupe interactif dont la valeur de progrès est la plus élevée, a réalisé un grand progrès dans l'acquisition de ces trois concepts (conforme à l'objectif) ce qui témoigne de l'effet remarquable de l'interaction élève-professeur indispensable aux interactions élèves-élèves. On note qu'au prétest, l'acquisition des trois concepts pour chaque groupe se présentait de la manière suivante : le groupe interactif était à 1,1% et le groupe autonome à 2,2%. La valeur de 1,7% n'étant qu'une moyenne globale comme les autres valeurs se trouvant dans cette colonne. Ainsi la réalisation des travaux pratiques en autonomie a contribué (bien que faiblement) à l'acquisition du concept de réaction acide-base et du concept de base alors que la réalisation de travaux pratiques avec en interaction avec le professeur a fortement contribué à l'acquisition de ces trois concepts à la fois. De plus, le groupe interactif a connu des progrès (bien que faible) dans l'acquisition des connaissances en associant deux concepts à la fois (trois associations): acide et base, acide et réaction, base et réaction. C'est une avancée importante dans l'appropriation des concepts par rapport au groupe autonome qui n'a fait des progrès que pour une seule paire et pour chaque concept pris individuellement.

D. Difficultés des élèves à la fin des travaux pratiques

Dans cette section, nous présentons les difficultés que rencontrent les élèves à la fin des travaux pratiques.

a. ... après TP1

Parmi les principales difficultés que présentent les élèves, on peut retenir :

- définir l'acide en se basant sur ses propriétés organoleptiques ; considérer l'acide comme le résultat d'une réaction d'hydrolyse ou une substance qui participe à la réaction de neutralisation; définir la base en partant de sa formule chimique ou de son usage en savonnerie le limitant ainsi à l'hydroxyde de sodium; considérer la base comme une substance qui participe à la réaction de neutralisation ;
- la tendance à définir l'acide et la base selon la conception d'Arrhenius ;
- la réaction acide-base est considérée comme une réaction aboutissant à la formation du sel, du sel et de l'eau ou autres;
- certains élèves n'ont pas de bonne compréhension qualitative de la réaction acide-base : ils pensent que pour augmenter l'acidité d'une solution, il faut diminuer son pOH ; évaporer le solvant par chauffage ou diluer la solution. D'autres croient qu'il faudrait ajouter l'acide ou recourir aux moyens physiques pour diminuer l'acidité (refroidir ou évaporer) ;
- les élèves utilisent une description quantitative pour définir l'acidité : pas de solution basique si le pH est inférieur à 7 ; la diminution du pH est liée à la diminution de l'acidité d'une solution : plus le pH diminue plus la solution est basique ; l'augmentation de la force d'un acide est liée à celle du pH ; la force d'une base augmente avec l'élévation de la valeur du pOH ;
- les élèves présentent des difficultés en mathématiques : méconnaissance des formules pour effectuer le calcul de pH, mauvaise application des formules ; maîtrise des notions de logarithme ; comparaison des nombres décimaux écrits en écriture scientifique; interprétation de la courbe de pH fonction de la concentration de la solution en mettant en relief le phénomène étudié ; confusion entre la constante d'acidité(K_a) et son expression sous forme de cologarithme (pK_a) ;

- pour certains élèves, un acide fort exige plus de moles de base forte qu'un autre qui ne l'est pas ; l'acide acétique exige trois moles de base forte, NaOH. Au cours de cette étude il s'est observé que les élèves confondent les réactions : estérification, saponification et neutralisation. Pour certains, la molécule CH_3COOH , l'acide acétique est une base.

b. ... après TP2

Après la seconde séance des travaux pratiques, certaines difficultés des élèves demeurent. Il s'agit de :

- identifier un acide, une base ou une espèce à la fois acide et base de Bronsted dans une série d'espèces chimiques
- la neutralisation complète ne peut se produire qu'entre électrolytes forts ou de même force. Ainsi, une base faible exige plus de moles d'acide fort pour sa neutralisation complète qu'une base forte ;
- seuls les hydroxydes sont des bases : l'ammoniac n'est pas une base ;
- beaucoup d'élèves ne tiennent pas compte de la présence de l'eau dans l'établissement de l'équilibre. Ils oublient ainsi de mentionner l'équilibre se rapportant à l'eau.
- les élèves n'exploitent pas la notion de couple acide-base conjuguée pour identifier le mélange tampon ni pour indiquer le sens correct d'un équilibre acido-basique ;
- les élèves pensent que les équilibres acide-base sont irréversibles (une seule flèche).

D'autre part, les faibles performances observées reflètent une limite des travaux pratiques à induire le changement conceptuel complet des élèves tel qu'attendu par les enseignants. (Au moins 80% des élèves doivent atteindre les objectifs, voir programme documents de l'ancien service national de formation, SERNAFOR).

L'analyse des résultats permet d'expliquer en partie pourquoi les travaux pratiques n'ont pas été en mesure d'induire le changement attendu. En effet, les faibles performances au cours

des tests indiquent les faiblesses dans le chef des élèves dont les origines sont diverses. Parmi les sources, on peut citer notamment : l'enseignement théorique et le contenu des travaux pratiques. L'absence ou l'insuffisance d'exploitation des applications du modèle de Bronsted a été un obstacle à l'efficacité des travaux pratiques, celui de médiateurs entre les observables et les idées.

Conclusion partielle

À la fin de l'enseignement théorique, la situation se présente comme suit :

- plus de la moitié des élèves interrogés soit 55,3% ont défini correctement la réaction chimique et le reste a gardé les conceptions alternatives. Ces dernières conceptions sont en partie dues à la confusion entre mélange et réaction ou à d'autres concepts n'ayant aucun rapport avec la réaction chimique ;
- environ la moitié des élèves ont adopté les conceptions classiques pour définir l'acide, soit 25,4% pour Arrhenius et 27,6% pour Bronsted ; 47% des élèves ont adopté d'autres conceptions relatives aux propriétés organoleptiques, à la mesure du pH ou à la réactivité pour l'acide ;
- près de la moitié des élèves a adopté la conception d'Arrhenius pour définir la base et seulement une très faible portion celle de Bronsted. La base paraît mieux connue sous la conception d'Arrhenius et sous les autres conceptions ;
- la majorité des élèves adoptent des conceptions alternatives pour définir la réaction acide-base dont peu envisagent la réaction proprement dite au détriment des autres concepts. La difficulté qui se présente est d'appliquer la connaissance de la réaction chimique sur un cas précis comme la réaction acide-base ;
- l'absence de la conception de Lewis est manifeste : aucun élève n'y a fait allusion.

À l'issue de la réalisation de TP1 :

- l'acide est mieux connu sous le modèle de Bronsted par rapport à la base. Le passage de la base de Bronsted au transfert de proton est plus facile que le passage de l'acide de Bronsted au transfert de proton. La majorité des élèves qui savent la base sous le modèle de Bronsted envisagent aisément le transfert de proton. Ainsi l'ignorance de la base de Bronsted est un blocage à la connaissance de la réaction acide-base comme transfert de proton. Nous pouvons suggérer que les travaux pratiques relatifs au pH des sels hydrolysables soient une occasion de montrer le caractère acide ou basique d'une substance qui ne contient pas, au départ, de l'hydrogène ou le groupe hydroxyde et contribuerait à étayer davantage l'enseignement théorique reçu en faisant ainsi émerger sur le plan pratique la conception de Bronsted.

- les conceptions des élèves ont graduellement et globalement évolué sous forme de paliers. Les unes sont acquises progressivement passant d'une mauvaise conception à une bonne. Les autres ont complètement changé passant sans transition de la mauvaise à la très bonne, alors que peu se sont enracinées. Les deux conceptions traditionnelles sont majoritairement présentes mais la proportion en conception de Bronsted l'emporte sur celle d'Arrhenius pour les concepts d'acide et de réaction acide-base.

- Du transfert des groupes d'élèves

- Conception sur l'acide

La majorité des élèves optent pour la conception de Bronsted après la manipulation. Une faible portion opte pour les autres conceptions après manipulation. En effet, on remarque un dépeuplement du groupe dit "autres conceptions" initialement majoritaire en faveur de la conception de Bronsted et de celle d'Arrhenius.

- Conception sur la base

On observe la prédominance en proportions égales des conceptions d'Arrhenius et de Bronsted. Cependant, la conception de Bronsted connaît une adhésion massive spectaculaire par rapport à la situation initiale. L'explication de la proportion élevée en conception d'Arrhenius serait due aux types de bases étudiées.

- Conception sur la réaction acide-base

Une partie importante d'élèves a conçu la réaction acide-base comme étant un transfert de proton ou une réaction qui consiste en la formation du sel et de l'eau. L'explication actuelle de la tendance générale des élèves à considérer cette réaction comme formant le sel et l'eau pourrait s'expliquer par le fait que la majorité ayant au départ des conceptions alternatives de la réaction acide-base, sont orientés vers la formation du sel et de l'eau suite aux exemples enseignés en classe et aux manipulations ...

- Appropriation progressive de la conception de Bronsted par groupe d'élèves

Après les TP1, les élèves changent leurs fausses conceptions et ils se répartissent en trois nouveaux groupes : le groupe à fausses conceptions (négligeable en nombre), le groupe à

conceptions intermédiaires, particulièrement celle d'Arrhenius, et le groupe à conceptions souhaitées, la conception de Bronsted. Ce dernier groupe est majoritaire. L'adhésion massive observée à la conception de Bronsted est incontestablement le résultat combiné de deux effets : l'effet des travaux pratiques et l'effet de l'interaction professeur-élève.

- Acquisition des groupes de concepts selon le modèle de Bronsted

Un écart assez remarquable se révèle entre les deux groupes lorsqu'il faut considérer les associations des concepts suivants : base uniquement, réaction acide et base uniquement, tous les concepts. Initialement 1,7% avaient acquis les trois concepts selon le modèle de Bronsted. Après les TP, la situation s'est améliorée : 4,4% des élèves du groupe autonome et 50,5 % des élèves appartenant au groupe interactif. Aussi, nombreux sont les élèves du groupe autonome qui n'ont acquis aucun concept par rapport à leurs homologues du groupe interactif, ce qui témoigne davantage du rôle joué par le professeur.

À l'issue des travaux pratiques, les apprenants ont réalisé une performance remarquable dans l'acquisition des concepts et la compréhension des propriétés relatives à la réaction acide-base. De façon globale, la situation se présente de la manière suivante : on observe un écart important entre les deux groupes pour des performances relatives à la définition des concepts de base. Il s'affaiblit quand il s'agit d'en identifier des exemples et redevient important pour la compréhension qualitative pour se retrouver en régression lors de la compréhension de la réaction de neutralisation. La faible performance obtenue après le TP1 à la question relative à la neutralisation peut être interprétée comme le faible apport de l'enseignement théorique à la connaissance de la réaction acide-base par les élèves.

D'autre part, après les TP1, les valeurs statistiques indiquent que le mode d'interaction est fortement corrélé avec les différentes catégories des réponses mais négativement ce qui est interprété comme l'efficacité de l'interaction et l'inefficacité du groupe autonome dans l'appropriation des concepts. Les valeurs de corrélation deviennent positives après le TP2 ce qui est compris comme l'efficacité de ces travaux à aider à la fois les deux groupes à s'approprier la réaction acide-base.

En définitive, les résultats prouvent que la réalisation des travaux pratiques au cours de l'enseignement de la réaction acide-base est un moyen efficace pour aider les élèves à

s'approprier la réaction acide – base selon la conception de Bronsted mais pour être plus efficace les élèves devraient être guidés par le professeur.

Néanmoins, quelques difficultés subsistent à l'issue de ces travaux pratiques. Il s'agit principalement de :

- l'identification d'un acide ou une base de Bronsted ;
- la neutralisation complète ne peut se produire qu'entre électrolytes forts ou de même force. Ainsi une base faible exige plus de moles d'acide fort pour sa neutralisation complète qu'une base forte ; un acide fort exige plus de moles de base forte qu'un autre qui ne l'est pas ;
- beaucoup d'élèves oublient ainsi de mentionner l'équilibre se rapportant à l'eau ;
- la non exploitation de la notion de couple acide-base conjuguée pour identifier le mélange tampon ou pour indiquer le sens correct d'un équilibre acido-basique ;
- difficultés en mathématiques : méconnaissance des formules pour effectuer le calcul de pH, mauvaise application des formules ; maîtrise des notions de logarithme ; interprétation de la courbe de pH fonction de la concentration de la solution en mettant en relief le phénomène étudié.

Conclusions générales et recommandations

Cette étude s'était fixée comme objectif principal de contribuer à l'amélioration de la qualité de l'enseignement de la chimie en République Démocratique du Congo. Nous avons débuté l'investigation par une série d'études préliminaires sur le programme scolaire et le niveau d'acquisition des connaissances en chimie par les élèves congolais comparativement à la situation en Belgique. Nous avons également mené une étude auprès des étudiants âgés de 15 à 16 ans sur le concept de réaction chimique. Les résultats de ces études ont montré que les élèves congolais présentaient une faible compréhension de la réaction chimique.

Les recommandations qui se sont dégagées de ces études s'étaient orientées vers trois pistes : (i) la réforme des programmes des cours, (ii) la formation continuée des enseignants et (iii) l'adoption d'une méthodologie d'enseignement adéquate pour enseigner la réaction chimique.

Afin de proposer des améliorations sur les différents points précités, nous avons porté notre attention sur la pratique enseignante, en abordant l'un des aspects de la réaction chimique à savoir, la réaction acide-base. Il s'agit concrètement de connaître la manière dont les élèves s'approprient cette partie du cours de chimie et comment leurs enseignants s'y prennent pour l'enseigner.

Nous avons orienté cette étude en trois axes de recherche correspondant à trois questions principales. Ces questions portaient sur les connaissances des enseignants et les conceptions des élèves ainsi que leurs difficultés d'apprentissage de la réaction acide-base.

Pour répondre à ces questions, cette étude a parcouru les étapes suivantes : (j) analyser le prescrit du curriculum de chimie sur les concepts de réaction acide-base en vue d'en établir la cohérence interne, (jj) décrire le PCK des enseignants sur la réaction acide-base en vue d'accroître la performance didactique et enfin (jjj) établir les capacités, les conceptions et les difficultés des élèves sur la réaction acide – base.

Après avoir établi une analyse de la cohérence interne du curriculum formel, nous nous sommes intéressés aux autres formes du curriculum en menant une série d'enquêtes auprès des enseignants et des élèves. Les résultats des tests préliminaires et la littérature publiée nous ont permis de construire des tests destinés aux élèves et à leurs enseignants pour établir leurs connaissances. Cette étude nous a permis de vérifier, du moins en partie,

l'influence de la réalisation de travaux pratiques et de l'interaction professeur-élèves sur l'acquisition des connaissances par les élèves.

Par rapport aux études antérieures, cette étude a le mérite d'avoir établi les connaissances des enseignants sur les modèles précis et l'évolution de la modélisation. De plus, sur le plan méthodologique, celle-ci a mis en parallèle les connaissances des professeurs et celles de leurs élèves pour résoudre leurs difficultés d'apprentissage. L'étude a prouvé que les travaux pratiques réalisés dans un mode interactif contribuent fortement à la compréhension de la réaction acide-base. Enfin, les résultats de cette étude débouchent sur des propositions concrètes en vue d'améliorer la qualité de l'enseignement de la chimie.

Dans les paragraphes suivants, nous allons récapituler les résultats qui nous paraissent importants, poser des nouvelles questions et dégager les différentes recommandations au sujet de la réforme du programme, de la méthodologie à adopter pour enseigner la réaction acide-base et de la formation continuée des enseignants.

1° De la cohérence interne du curriculum formel

L'analyse du programme de chimie en dernière année du secondaire montre que celui-ci prévoit l'utilisation à la fois de plusieurs modèles acide-base. Il propose d'exploiter les trois modèles classiques dans le registre théorique et uniquement deux modèles, Arrhenius et Bronsted, dans la partie expérimentale. De plus, le programme n'indique pas clairement la méthodologie à suivre pour enseigner chaque modèle ou passer d'un modèle à l'autre, d'où un oubli manifeste de certaines matières dans le curriculum prescrit pouvant être une source des difficultés d'apprentissage par les élèves des modèles acide-base.

Par contre, la plupart des manuels scolaires développent principalement le modèle d'Arrhenius et aucun manuel ne traduit réellement par écrit le contenu intégral du curriculum prescrit. Ainsi, ces manuels marquent une insuffisance de développement et d'actualisation des notions acide-base ce qui est en défaveur des principaux objectifs. Les épreuves nationales abondent dans le même sens que les manuels scolaires : celles-ci focalisent l'attention sur les calculs des grandeurs de pH et de concentration en suivant uniquement le modèle d'Arrhenius.

2° Les modèles et la modélisation de la réaction acide-base dans le curriculum implanté

- Description du PCK des enseignants sur la réaction acide- base

• Connaissances du contenu disciplinaire

Pour les concepts acide et base, la part en conception d'Arrhenius et en d'autres conceptions est relativement importante initialement. Suite à une autoformation continuée et une prise de conscience de l'existence des lacunes dans la formation initiale, les enseignants auraient décidé d'abandonner les fausses conceptions au profit des trois conceptions classiques connues. D'autres auraient même abandonné le modèle d'Arrhenius au profit des modèles de Bronsted et de Lewis. Par contre, pour le concept de réaction acide-base, la majorité des enseignants a opté pour le modèle d'Arrhenius. Cependant, pour les conceptions actuelles, cette tendance a connu une légère baisse : certains ont quitté cette catégorie en faveur du transfert du proton.

On a noté également une proportion importante des fausses conceptions témoignant la persistance d'un déficit de compréhension de la réaction acide-base chez certains enseignants.

• Connaissance du programme officiel

Les enseignants ont une bonne connaissance du programme officiel sur les concepts de réaction acide-base. Dans leur enseignement, la majorité des enseignants insistent sur la définition des concepts de base selon les différents modèles, les indicateurs colorés et la mesure du pH, le dosage acido-basique en insistant davantage sur la courbe de neutralisation, la quantité des sels formés, le choix de l'indicateur et le dosage au moyen d'un indicateur et le saut du pH.

• Connaissance du contexte

L'étude de la réaction acide-base en classe reste à envisager pour les nombreuses applications courantes de la réaction acide-base. Particulièrement, au cours des travaux pratiques, elle aide les élèves entre autres à :

- déterminer le caractère acide ou basique d'un milieu donné;
- comprendre le comportement d'un acide envers une base et inversement;

- comprendre les phénomènes courants et
- comprendre d'autres notions en chimie comme l'oxydoréduction.

Les difficultés liées à l'enseignement de la réaction acide-base se rapportent à :

- la méthodologie appliquée
- le contenu du programme de chimie considéré par certains comme *volumineux* et par d'autres *déficitaire*;
- la carence d'une documentation actualisée ;
- l'absence d'un esprit d'initiative chez l'enseignant à aborder ou à améliorer les travaux pratiques.

Ainsi l'enseignement de la réaction acide-base est influencé par le milieu de vie de l'élève, son orientation initiale dans l'option qu'il fréquente, ses connaissances des phénomènes naturels et des applications courantes relatives à l'acidité, ses connaissances scolaires en sciences et en mathématiques.

- **Connaissance des méthodes d'enseignement**

La plupart des enseignants recourent à deux méthodes d'enseignement: ex-cathedra et la méthode interactive. D'une manière générale, le modèle d'Arrhenius est déclaré plus facile à enseigner quelle que soit la méthode employée ou l'expérience professionnelle de l'enseignant. En sciences fortes, les modèles de Bronsted et de Lewis présentent plus de difficultés d'enseignement qu'en sciences faibles. Le groupe interactif est plus efficace que le groupe ex-cathedra. Ainsi la méthode interactive, le modèle de Bronsted est plus facile à enseigner alors que celui de Lewis reste plus difficile dans les deux modes d'enseignement.

Pour les enseignants, l'expérimentation demeure la méthode idéale pour concilier la théorie et la pratique et rendre compte de la réalité aux élèves. La plupart des professeurs exploite par défaut la méthode ex-cathedra, la schématisation avec des exemples concrets, les applications numériques et l'enseignement par analogie.

- **Connaissance des raisonnements et des difficultés des élèves**

On distingue trois niveaux de raisonnements des élèves suivis de différents comportements qu'ils manifestent:

- le raisonnement basé sur l'expérience personnelle des élèves impliquant l'existence des conceptions alternatives ;

- le raisonnement relatif aux propriétés de l'acide ou de la base face à un indicateur : sentiment d'émerveillement, incapacité d'envisager le changement de couleur...
- le raisonnement mathématique, un raisonnement déductif : relatif à la théorie à travers la résolution des exercices.

Les élèves éprouvent des problèmes à apprendre cette notion, à la fois, à cause de l'absence d'un appui expérimental et du volume important du cours de chimie. L'enseignant, de son côté, déclare avoir éprouvé des difficultés similaires lorsqu'il était lui-même élève.

- **Connaissance des méthodes d'évaluation de la compréhension des étudiants**

Chaque enseignant recourt souvent à plusieurs méthodes d'évaluation de la compréhension de la réaction acide-base par les élèves : des questions d'échange en classe avec les élèves pour vérifier leur compréhension et résoudre leurs difficultés ; les interrogations écrites ou orales ; la résolution des exercices numériques en classe ou à domicile ainsi que l'analyse des réactions des élèves pendant la synthèse en classe.

- **Impact de la présentation des réponses des élèves**

La présentation aux enseignants d'un échantillon des copies contenant des réponses erronées proposées par les élèves nous a permis d'évaluer leur connaissance des difficultés des élèves et de mesurer l'impact que cela devrait avoir sur leur propre connaissance.

L'analyse des réactions fournies par les enseignants nous conduit aux conclusions suivantes :

- les erreurs les plus facilement identifiées par les enseignants sont dans l'ordre décroissant d'identification : la neutralisation d'un acide faible par rapport à un acide fort, la force d'un acide et une concentration élevée entraînant une valeur élevée de pH ; l'application directe de la formule de pH face à une solution aqueuse contenant une très faible concentration d'acide ; le calcul de pH d'une solution aqueuse d'acide chlorhydrique à très faible concentration.
- les erreurs difficilement identifiées par les enseignants sont rangées dans l'ordre décroissant d'identification : la neutralisation d'une base faible par rapport à une base forte; la non désignation du couple acide-base conjugué pour caractériser le pouvoir tampon.

De ce qui précède, on peut conclure que les principales difficultés des enseignants sont centrées sur deux matières : la méconnaissance de la réaction acide-base (la neutralisation

complète ne peut se produire qu'entre électrolytes de même force) et celle du couple acide-base. Ainsi observe-t-on une persistance du modèle d'Arrhenius, suite probablement à l'influence des manuels utilisés. Toutefois, certaines difficultés seraient dues à plusieurs autres facteurs : le manque d'une documentation actualisée, l'utilisation de plusieurs modèles acide-base, l'usage sans critique par les enseignants des manuels scolaires qui n'exploitent que le modèle d'Arrhenius et l'habitude acquise par les enseignants d'utiliser uniquement ce modèle dans leur enseignement.

L'analyse des résultats relatifs aux professeurs mène à distinguer pour le PCK, deux zones à influence variable. La zone à influence positive est à l'origine de la performance acquise par les élèves et la zone négative à l'origine du faible taux de progrès et en partie des difficultés des élèves. En effet, le PCK peut s'améliorer si les problèmes suivants sont résolus : la possibilité de réaliser les travaux pratiques; la création d'un contexte approprié à l'étude des réactions acide – base et la connaissance par l'enseignant des raisonnements et difficultés des élèves. Par contre, les éléments suivants constituent un blocage et donc un affaiblissement du PCK : les difficultés initiales des élèves et leurs raisonnements au cours des travaux pratiques ; l'incohérence interne du programme et l'apprentissage de plusieurs modèles à la fois ; la non maîtrise du sujet par le professeur et l'expérience récente du professeur comme élève qui accentuerait les préjugés du professeur face à ses élèves ou favoriserait une manière routinière de faire.

3° Révélation des conceptions et des difficultés d'apprentissage des élèves

Le pré-test a montré que les trois concepts acide, base et réaction acide-base sont mieux connus sous les conceptions alternatives avec une proportion importante accordée à la réaction acide - base. Dans l'ensemble, ces concepts sont faiblement connus sous le modèle de Bronsted. Les corrélations significatives établies entre les définitions des concepts d'acidité prouvent qu'il est nécessaire de connaître au préalable les concepts d'acide et de base pour s'appropriier le concept de réaction acide-base. Les corrélations dont la signification est nulle traduisent que la plupart de ceux qui ont bien défini la réaction chimique n'ont pas nécessairement bien défini l'acide, la base ou la réaction acide-base et inversement.

Après avoir réalisé les travaux pratiques, les conceptions des élèves évoluent vers l'appropriation de la réaction acide-base en suivant le modèle de Bronsted. Les principaux résultats obtenus se présentent comme suit :

- à propos de la connaissance des concepts : les corrélations internes montrent que le passage de la base de Bronsted au transfert de proton est plus facile que le passage de l'acide de Bronsted au transfert de proton. Ainsi la connaissance de la base de Bronsted est un atout à la connaissance de la réaction acide-base comme transfert du proton. D'autre part, les élèves ont eu de la peine à identifier l'acide et la base de Bronsted : de nombreux élèves ont désigné l'eau et l'ion cyanure comme n'étant pas des bases de Bronsted. De plus, ils ont considéré l'ion hydrogénosulfure et l'eau comme ne pouvant agir à la fois comme acide et base.
- à propos de la compréhension des propriétés qualitatives : concernant la variation de l'acidité d'une solution, très peu d'élèves ont opté pour des mauvaises réponses aux questions posées prouvant en partie une bonne maîtrise de cette notion par un bon nombre d'élèves. Aussi l'ignorance du couple acide-base conjugué a posé des problèmes dans la désignation et la justification du mélange tampon ainsi que la connaissance des espèces qui entrent en jeu dans un équilibre acide-base.
- à propos de la compréhension quantitative de la neutralisation d'un acide faible ou d'une base faible : au premier travail pratique TP1, peu d'élèves ont proposé la bonne réponse et ont fourni le justificatif y relatif. Au second travail pratique TP2, près de la moitié des élèves interrogés ont choisi la bonne réponse et ont apporté le justificatif y relatif. Le premier résultat est plus faible que le second car le TP1 n'a eu aucune influence – car non approprié. Cependant, ce résultat indique la faible contribution de l'enseignement théorique à la connaissance de la réaction acide-base. Aussi, l'écart observé entre les deux résultats indique en partie la contribution du TP2 à la connaissance de la réaction acide-base.

Les résultats montrent qu'après le TP1, une partie importante d'élèves abandonne les fausses conceptions et adoptent pour les uns, le modèle d'Arrhenius et pour les autres, celui de Bronsted. Le groupe interactif s'est davantage approprié la réaction acide-base en

adoptant le modèle de Bronsted par rapport au groupe autonome, qui s'est plus orienté vers Arrhenius et des modèles inappropriés. Des élèves qui n'avaient aucune connaissance des modèles classiques, on observe qu'ils se répartissent par la suite différemment en trois groupes de conceptions indiquant une progression par étape. L'appropriation des concepts est de fait progressive en passant d'un niveau faible à un niveau supérieur confirmant ainsi la théorie de construction du savoir par stades successifs et progressifs (Giordan, de Vecchi, 1990 ; Jonnaert, 2002).

Ainsi, on observe des progrès de 2,8% pour le groupe autonome et 49,5% pour le groupe interactif dans l'acquisition de trois concepts à la fois. La statistique indique que l'écart entre les deux progrès est significatif ce qui implique que le groupe interactif a fait plus de progrès dans l'acquisition des connaissances par rapport au groupe autonome. Les résultats indiquent qu'à l'issue du TP1, il y a un accroissement de performance de 39,2% en faveur du groupe interactif. Au TP2, le groupe interactif-autonome régresse de 21,4% contre 1,9% pour le groupe autonome-interactif. Ainsi observe-t-on une chute brutale de la performance due à l'absence de l'interaction professeur-élèves. On peut en tirer deux informations : la définition des concepts a été plus facile que l'identification des exemples y relatifs et les élèves devraient réaliser les travaux pratiques sous la guidance du professeur pour être plus performant.

Également, après les TP1, les valeurs statistiques indiquent que le mode d'interaction est fortement corrélé avec les différentes catégories des réponses des élèves mais négativement ce qui est interprété comme l'efficacité de l'interaction, le groupe interactif s'étant davantage approprié la réaction acide-base par rapport au groupe autonome. Les TP appuyés par l'explication du professeur ont la possibilité de mobiliser des groupes d'élèves qui changent de conceptions et adhèrent à de nouvelles conceptions plus sensées à leurs yeux.

Après le TP2, les moyennes de réussite sur la connaissance des concepts, la compréhension qualitative et la compréhension quantitative sont respectivement 17,7% ; 28,9% ; 17,6% pour le groupe interactif-autonome et 31,1% ; 47,8% ; 28,9% pour le groupe autonome-interactif. La statistique t de student indique que les écarts observés entre les deux groupes

sont significatifs. Le groupe autonome-interactif s'étant montré plus performant surtout dans l'identification et l'utilisation du couple acide-base conjugué.

Mais aussi, les valeurs de corrélation sont positives après le TP2 ce qui est compris comme l'efficacité de ces travaux à aider à la fois les deux groupes à s'approprier la réaction acide-base.

En définitive, l'évolution observée après les deux séances de travaux pratiques est attribuable à deux facteurs : les travaux pratiques effectués par les élèves et l'interaction professeur-élèves. Ainsi, le suivi des élèves par le professeur pendant les travaux pratiques s'avère indispensable. D'autre part, ces résultats indiquent également la faiblesse constatée dans la performance globale des élèves ainsi que la compréhension du concept de la réaction acide base et d'autres notions apparentées. Vu l'impact de ces travaux sur le plan cognitif et affectif, leur réalisation s'impose comme une nécessité pour augmenter la performance didactique.

Cependant à l'issue des travaux pratiques, certains élèves ont gardé des fausses conceptions et de nombreuses difficultés d'apprentissage de la réaction acide - base. Parmi les principales difficultés que présentent les élèves, on peut retenir :

- la tendance à définir l'acide, la base et la réaction acide-base selon le modèle d'Arrhenius ainsi que la difficulté d'identifier un acide ou une base de Bronsted ;
- l'utilisation d'une définition descriptive pour définir l'acidité ; l'attribution de la diminution du pH à la diminution de l'acidité d'une solution, l'augmentation de la force d'un acide à celle du pH et l'augmentation de la force d'une base à l'élévation de la valeur du pOH... ;
- la méconnaissance remarquable du couple acide-base conjugués, ce qui entraîne la méconnaissance des acides et des bases, la difficulté de justifier l'existence du mélange tampon ou d'indiquer les sens des équilibres acide-base ;
- les difficultés en mathématiques : le calcul du pH, l'application des formules ; l'interprétation des courbes ... ;

- la tendance à concevoir que la neutralisation complète ne peut se produire qu'entre électrolytes forts ou électrolytes de même force ;
- la tendance à considérer certaines substances comme n'étant pas des bases comme le gaz ammoniac car non hydroxyde;
- l'ignorance de l'eau dans l'établissement de l'équilibre acide-base.

En revanche, les différentes conceptions alternatives et toutes les difficultés d'apprentissage ont montré la limite de ces travaux seuls à aider les élèves de manière définitive à s'approprier la réaction acide-base selon le modèle de Bronsted. Ainsi, la contre-performance à certaines questions et des faibles progrès sont un signe qui cache d'autres paramètres qui auraient influencé négativement l'appropriation du savoir tels que l'enseignement suivi, l'introduction de plusieurs modèles, l'incohérence du curriculum, les méthodes pédagogiques employées, la non réalisation des travaux pratiques dans les classes antérieures...

Les résultats du présent travail mettent l'accent sur l'incohérence du curriculum comme sources des difficultés des élèves à s'approprier le modèle acide – base de Bronsted. L'absence des travaux pratiques ne fait qu'empirer la situation ! Des stratégies devront être adoptées pour résoudre les difficultés des élèves et ainsi améliorer la qualité de l'enseignement de la réaction acide-base.

C'est pourquoi à l'issue de cette étude, différentes nouvelles questions se posent. Elles se situent à trois niveaux : une méthodologie à mettre en place pour aider les élèves à privilégier le modèle de Bronsted et à résoudre leurs difficultés; la formation continuée des enseignants et la réforme du programme de chimie sur la réaction acide – base. Elles sont traduites en ces termes :

- quelles pistes de solution envisager pour la réforme du programme de chimie sur la réaction acide – base ?
- quelles orientations privilégier au cours de la formation continuée pour que les enseignants prennent conscience des difficultés d'apprentissage des élèves et de

leurs propres difficultés sur la réaction acide – base et adoptent des stratégies pour les résoudre?

- quelle méthodologie suivre pour aider les élèves à comprendre la réaction acide-base en privilégiant le modèle de Bronsted, au cours de l'enseignement théorique et des manipulations de laboratoire ?
- **Envisager la réforme du programme de chimie sur la réaction acide – base en privilégiant les pistes suivantes :**
 - réduire la quantité des matières à apprendre pour les concepts d'acidité dans une même classe (Sheppard, 2006) en introduisant d'abord des problèmes et des situations simples pour évoluer vers des situations complexes (Tsaparlis et al, 2004b) : ne pas étudier à la fois les trois modèles dans la classe terminale. Privilégier l'étude d'un seul modèle. Cela éviterait d'installer la confusion et l'ambiguïté dans les esprits des élèves et permettrait de gagner du temps et donc faciliter l'assimilation.
 - indiquer clairement dans le programme et dans les ouvrages scolaires les différents modèles acide – base à étudier en insistant sur l'apport et les limites de chacun ; étaler l'étude de ces modèles sur les quatre années de chimie au secondaire afin d'acquérir progressivement les notions d'acidité;
 - exploiter le modèle supérieur, par exemple celui de Bronsted dans la classe terminale et le modèle d'Arrhenius dans les classes inférieures. A ce niveau d'études, il serait intéressant de revenir sur le modèle Arrhenius comme pré-requis pour introduire le modèle de Bronsted ; définir les concepts acide, base, réaction acide-base et le couple acide – base en empruntant de nombreux exemples et appliquer le modèle de Bronsted aux autres notions d'acidité prévues; à l'aide des expériences, établir les insuffisances du modèle d'Arrhenius et appliquer le modèle de Bronsted aux applications pratiques proprement dits ;
 - insérer dans le programme de chimie des notions relatives au modèle de Lewis (modèle plus développé que celui de Bronsted) comme les mécanismes réactionnels en chimie organique et leurs applications industrielles locales pour faciliter sa compréhension par les élèves ou le cas échéant supprimer ce modèle des programmes scolaires et reporter son étude à l'enseignement supérieur ;

- insérer dans le programme et dans les ouvrages scolaires les autres types de dosage acide – base : les dosages des acides faibles par les bases fortes et celui des bases faibles par les acides forts afin de permettre aux élèves d’apprécier qualitativement et quantitativement la réaction de neutralisation : application de la notion du couple acide – base conjugué, préparation des mélanges tampons et des quantités de base forte ou d’acide fort nécessaires à la neutralisation complète.
- cette réforme devrait mettre sur pied un curriculum avec des thèmes qui traitent certes des lois scientifiques mais aussi qui tiennent compte des besoins de la population, des réalités de la République Démocratique du Congo : ses cultures, ses richesses, ses aspirations, ses initiatives locales et nationales,... bref des locomotives sur lesquelles la jeunesse devrait s’appuyer pour pousser le Congo vers le développement. À l’annexe 17 nous proposons quelques thèmes (manipulations) qu’on pourrait inclure dans le programme scolaire.
 - **Organiser la formation continuée des enseignants**

La description du PCK a le grand avantage de présenter aux enseignants leur connaissance professionnelle afin d’apprendre sur les méthodes pédagogiques et les difficultés des élèves. Elle peut aider les nouveaux enseignants de chimie à s’imprégner rapidement de la pratique pédagogique et acquérir de l’expérience (Loughran et al. 2004 & 2006 ; Shulman, 1987 ; Padilla et al. 2004). Au vu des informations intéressantes recueillies sur les méthodes pédagogiques et l’apprentissage des élèves, le concept de PCK est indispensable ; il pourrait être efficace en se présentant comme l’une des solutions aux multiples problèmes que connaît ce système éducatif. Ainsi, il s’avère nécessaire d’instaurer une formation continuée des enseignants.

Au cours de cette formation, il faudrait :

- porter à la connaissance des enseignants leurs difficultés conceptuelles et discuter ensemble le PCK en insistant sur les difficultés d’apprentissage de leurs élèves sur la réaction acide – base selon le modèle de Bronsted et les méthodes pour résoudre ces dernières ;
- proposer un canevas aux enseignants pour remédier à la fois à leurs difficultés et à celles de leurs élèves. Ce canevas porterait sur le contenu disciplinaire afin de

préciser le contenu théorique sur la réaction acide-base. Ce canevas porterait également sur les types de dosage acido-basiques ainsi que sur le protocole expérimental et le contenu des TP sur la réaction acide – base selon les trois modèles classiques. Il serait mené en liaison avec les difficultés des élèves et les difficultés des enseignants : permettre aux enseignants de comprendre les difficultés des élèves et leurs propres difficultés notamment sur l'acquisition du modèle de Bronsted pour qu'ensuite ils adoptent des situations pédagogiques favorisant leur résolution (Kermen & Méheut, 2008a & 2008b).

- apprendre aux enseignants à utiliser des produits courants dans les TP et susciter leur esprit d'initiative et de créativité. L'annexe 17 décrit des manipulations simples à réaliser sur la réaction acide-base et la méthodologie à adopter en tenant compte des réalités culturelles et des richesses de la région de Bukavu et ses environs. C'est un ensemble de deux dossiers, l'un destiné à l'enseignant et l'autre destiné aux élèves. Les manipulations y sont présentées sous forme de thèmes répartis en différentes catégories. Ces catégories se rapportent à la réaction acide-base : les indicateurs colorés, l'acidité et la mesure de pH, les acides et leurs dérivés, les bases et leurs dérivés, la réaction de neutralisation, la réaction de saponification et la préparation des sels. Enfin, ces manipulations peuvent se réaliser partout au Congo vu ses potentialités et ses richesses.

- **Adopter une méthodologie appropriée pour enseigner la réaction acide - base**

L'un des résultats importants de cette étude est le changement conceptuel des élèves occasionné par la réalisation des travaux pratiques et la facilité par l'interaction professeur-élèves. En effet, les travaux pratiques sont vivement recommandés aux élèves : ne pas les réaliser, empêche les élèves de s'approprier la réaction acide – base selon le modèle de Bronsted.

- au cours des travaux pratiques, favoriser le travail en équipe d'élèves (Ayhan, 2004) et leur interaction avec le professeur pour leur permettre de partager les idées entre eux en produisant un travail commun ;

- utiliser le protocole expérimental de façon à inciter l'étudiant à faire des liens entre les observables relatifs à la manipulation et les différents concepts mis en jeu (Naija, 2004) ;

En restant dans le cadre du programme actuel, deux séances de travaux pratiques sont à réaliser :

- pour une première séance des travaux pratiques, exploiter la coloration en expliquant dans le cours théorique de manière simple l'origine de la coloration d'un indicateur selon la nature de la solution. Aborder des exemples pratiques de solution d'acide ou de base requérant la modélisation de Bronsted en plus de ceux relevant du modèle d'Arrhenius. Cela permettrait aux élèves de comprendre l'origine du changement de la coloration et d'apprécier à sa juste valeur la réaction acide-base lors des travaux pratiques.
- dans la seconde séance des travaux pratiques, aborder également les autres types de dosage acide-base en l'occurrence les dosages acide faible par une base forte et base faible acide fort et inversement ; exploiter l'explication décrivant la neutralisation en indiquant les espèces majoritaires et le couple acide- base conjugués intervenant.

Pareilles explications abordées au préalable au cours de l'enseignement théorique peuvent aider les élèves à comprendre au cours des travaux pratiques, l'explication qui met en jeu le transfert de proton en passant ainsi du niveau macroscopique au niveau microscopique.

- prendre en considération au cours des enseignements théoriques le rôle actif de l'eau, son autoprotolyse et ses conséquences dans tous les équilibres en solution aqueuse (Tsaparlis, 2004a).

Par ailleurs, les résultats montrent la nécessité pour les enseignants et les auteurs d'ouvrages de fournir aux étudiants des descriptions claires des modèles utilisés pour expliquer les propriétés des acides et des bases. Il faudra donc disposer d'une documentation actualisée –au besoin un manuel programme- qui précise le modèle qu'il faudra privilégier à chaque niveau d'études et qui explique en quoi ce modèle diffère de celui qui a été vu dans la classe précédente (Drechsler & Van Driel, 2009).

Aussi, les résultats montrent que les enseignants s'inspirent des ouvrages disponibles et des types des questions posées à l'évaluation nationale et que cela influence fortement leur enseignement. Dans la mesure où ils doivent dispenser tout ce qui est prévu au programme pour mieux préparer les élèves à l'évaluation, ils ne pourraient plus attirer l'attention que sur des matières qui sont réellement évaluées. Dans ce cas, la priorité a été accordée au modèle d'Arrhenius. Pour éviter cela, les enseignants devraient apprendre à critiquer les manuels et les ouvrages scolaires afin de développer des nouvelles stratégies d'enseignement (Drechsler & Van Driel, 2008).

Enfin, l'amélioration de la qualité d'enseignement de la réaction acide-base passe par celle de la chimie et en général celle de l'ensemble du système éducatif. Ainsi, il faudrait :

- organiser des visites des usines de fabrication des produits relatifs à la réaction acide-base et exploiter les applications locales ;
- établir des contacts officiels entre ces entreprises et les écoles, pourvoyeuses en ouvriers.

Références bibliographiques

1. Abrahams I. & Millar R. (2008). Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, Vol. 30, No. 14, pp. 1945 – 1969.
2. Ahtee M. & Varjola, I. (1998). "Students' understanding of chemical reactions", *International Journal of Science Education*, vol. 20, pp. 303-316.
3. Ayas, A. and Demibras, A. (1997). Turkish secondary students' conceptions of Introductory concepts, *Journal of Chemical Education*, Vol. 74, p. 518
4. Ayhan A. (2004), Effect of Conceptual Change Oriented Instruction Accompanied with Cooperative Group Work on Understanding of Acid-Base Concepts, *MetuThesis*, <http://www.ndltd.org/ndltd/find>.
5. Barke H-D, Hazari A. and Yitbarek S. (2009). *Misconceptions in chemistry*, Springer, pp. 173-205
6. Bashamuka B. & Mano M. (2009). Conception et évaluation des aptitudes mesurées aux épreuves de chimie : cas des items administrés aux examens d'État de 1996 à 2006, in *Centre de Recherche Universitaire du Kivu*, No. 33, Bukavu, pp 84-92.
7. Baudrit A. (2005). *L'apprentissage coopératif : origines et évolutions d'une méthode pédagogique*, Bruxelles : De Boeck, pp. 7-12.
8. Birk, J-P. and Yeziarski, E-J. (2006). Misconceptions about the particulate nature of matter: using animations to close the gender gap, *Journal of Chemical Education*, vol.83, No. 6, pp. 954-960.
9. Bourassa B., Serre F. & Ross D. (1999). *Apprendre de son expérience*, Presses Universitaires de Québec
10. Bretz S-L (2005). All students are not created equal : learning styles in chemistry classroom, in *Chemists' guide to effective teaching* (Norbert J. Pienta, Melanie M. Cooper, Thomas J. Greenbowe), pp. 28-40
11. Brodin G. (1978). The role of the laboratory in the education of industrial physicists and engineers. In J.G. Jones & J.L. Lewis (Eds.). *The role of the laboratory in physics education* (pp. 4–14). Oxford, UK: ICPE/GIREP. Cerini, B., Murray, I., & Reiss, M.

12. Brousseau G. (1998). *Théorie des Situations Didactiques*, Grenoble : La pensée sauvage
13. Cachau - Herreillat D. (2009). *Des expériences de la famille acide-base : réussir, exploiter et commenter 50 manipulations en chimie*, Bruxelles : Groupe de Boeck, pp. 5 – 10
14. Cahay R. & Therer J. (1998). Styles d'enseignement, styles d'apprentissage et pédagogie différenciée en sciences, *Information pédagogique* No. 40, *Inventaire des Styles d'Apprentissage Laboratoire d'Enseignement Multimédia (ISALEM)*, Université de Liège.
15. Cheung D. (2009a). Using think-aloud protocols to investigate secondary school chemistry teachers' misconceptions about chemical equilibrium, *Chemistry Education Research and Practice (CERP)*, Vol. 10, pp. 97-108.
16. Cheung D. (2009b). The Adverse Effects of Le Châtelier's Principle on Teacher Understanding of Chemical Equilibrium, *Journal of Chemical Education*, 86 (4), p. 514.
17. Cokelez A. (2010). A comparative study of French and Turkish students' ideas acid-base reactions, *Journal of Chemical Education*, Vol. 87, Issue 1, pp. 102 - 106
18. Cros D., Maurin M., Aamorous R., Chastrette M., Weber J. and 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, pp.305-313.
19. 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, pp. 331-336.
20. Davous et al. (2000). Le nouveau programme de la classe de première scientifique : la mesure en chimie, *BUP*, Vol.94, pp. 1-32
21. De Jong, Van Driel J-H & Verloop N. (2005). Preservice Teachers' Pedagogical Content Knowledge of using particle moles in teaching chemistry, *In Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 42, No. 8, pp. 947–964.
22. Demeuse M. & Strauven C. (2006). *Développer un curriculum d'enseignement et de formation (des options politiques au pilotage)*, Bruxelles : De Boeck & Larcier Sa.
23. Drechsler, M. & Schmidt, H-J. (2005). Textbooks' and teachers' understanding of acid-

base models used in chemistry teaching, *Chemical Education : Research and Practice*, Vol.6, pp. 19-35

24. Drechsler M. & Van Driel J. (2008). Experienced Teachers' Pedagogical Content Knowledge Acid-Base Chemistry, *Research in Science Education*, Vol. 38, Springer, pp. 611–631
25. Drechsler M. & Van Driel J. (2009). Teachers' perceptions of the teaching of acids and bases in Swedish upper secondary schools, *Chemistry Education Research*, Vol 10, pp. 86-96
26. Gabel D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry educational research : a look to the future, *Journal of chemical education* , vol. 76, No. 4, pp. 548-553
27. Garritz A., Padilla K. and Ponce-de-Leon A.M. (2008). The Pedagogical Content Knowledge of Latino American chemistry professors on the magnitude «amount of substance» and its unit «mole» Facultad de Química, UNAM, MÉXICO. Facultad de Química, Florencia M. Rembado, pp. 1389-1404
28. Gees-Newsome J. (1999a). Pedagogical Content Knowledge: an introduction and orientation, In J. Gess-Newsome & N. Lederman (Eds): *Examining Pedagogical Content Knowledge*(pp.3-20), Dordrecht, The Neterlands: Kluwer
29. Gees-Newsome J. (1999b). Secondary Teachers' knowledge and beliefs about subject matter and their impact on instruction, In J. Gess-Newsome & N. Lederman (Eds) : *Examining Pedagogical Content Knowledge*(pp.51 – 94), Dordrecht, The Neterlands: Kluwer
30. Germain G., Mari R. and Bumel D. (2001). Chimie générale, Paris : éd. Masson, pp. 174 – 176
31. Gilbert J. K., Pietrocola M., Zylbersztajn A. and Franco C.(2000a). Science and education: notions of reality, theory and model, in J. K. Gilbert and C. Boulter (eds.), *Developing models in science education*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 19-40.
32. Gilbert J. K., Boulter C-J. and Elmer R.(2000b). Positioning models in science education and in design and technology education, in J. K. Gilbert and C. Boulter (eds.): *Developing models in science education*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 3 - 18.
33. Giordan, A. et de Vecchi, G. (1990). Les origines du savoir (des conceptions des apprenants aux conceptions scientifiques), Paris : De Lachaux & Nestlé.
34. Griffths A.K (1994). In Schmidt, H.J., Ed., H.J.; Proceedings of the symposium problem solving and misconceptions in chemistry and physics, ICASE: Dortmund, Germany, pp. 70- 79.
35. Hand, B. M., & Treagust, D. F. (1988). Application of a conceptual conflict teaching

strategy to enhance student learning of acids and bases. *Research in Science Education*, Vol. 18, pp. 53-63.

36. Hodson D. (1990). A critical look at the practical work in school science, *School Science Review* 70 (256), pp. 33-40.

37. Hodson D. (1993). Re-thinking old ways: Towards a more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education*, 22, pp. 85–142.

38. Houssaye J. (2000). *Le triangle pédagogique. Théorie et pratiques de l'éducation scolaire*, Berne : Peter Lang (3^e Édition).

39. Hume K. (2009). *Comment pratiquer la pédagogie différenciée avec les jeunes adolescents ?*, Bruxelles : De Boeck

40. Inspectorat Général de l'Enseignement-IGE, (2010). *Cahiers d'Items d'Exétat de 1997 à 2006*, Edition revue I.G.E, Kinshasa-RDC

41. Johnstone A-H. ((2000). *Teaching of chemistry – logical or psychological?* *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, Vol. 1, No. 1, pp. 9-15

42. Jonnaert Ph. (2002). *Compétences et socioconstructivisme : un cadre théorique*, Bruxelles : De Boeck.

43. Justi R-S and Gilbert J-K. (2002). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modeling in learning science education, vol. 24, No. 12, pp. 1273-1292

44. Kermen I. (2007). *Prévoir et expliquer l'évolution des systèmes chimiques*, Thèse de doctorat, Université Paris, Diderot-paris 7

45. Kermen I. & Méheut M. (2008a). *Mise en place d'un nouveau programme à propos de l'évolution des systèmes chimiques: impact sur les connaissances professionnelles des enseignants*, *Didaskalia*, No. 32, pp. 77-116.

46. Kermen I. & Méheut M. (2008b). *Expliquer l'arrêt de l'évolution d'un système chimique en terminale S*, *Didaskalia*, Vol. 102, pp. 858 - 868

47. Kolb D. (1978). *Acids and bases*, *Journal of Chemical Education*, Vol. 55 (7), pp. 459-464

48. Kolb D-A (1984). *Experiential learning: experience as source of learning and development*. Englewood Cliffs, New Jersey : Printice-Hall

49. Kousathana M., Demerouti M and Tsaparlis G. (2005). Instructional misconceptions acid-base equilibria : an analysis from a history and philosophy of science perspective, in science education 14, pp .173-193
50. Kuzniak A. (2004). La théorie des situations didactiques de Brousseau, L'Ouvert 110, pp. 17-33
51. Lebrun M. (2007). Théories et méthodes pédagogiques pour enseigner et apprendre, Bruxelles : De Boeck
52. Lake, M-E., Grunow, D-A. and Su Meng-Chih. (1992). Graphical presentation of acid-base reactions: Using a computer-interfaced autotitrator (CS), Journal of Chemical Education, 69 (4), p. 299.
53. Laugier A. & Dumon A. (2000). Travaux pratiques en chimie et représentation de la réaction chimique par l'équation-bilan dans les registres macroscopiques et microscopiques : une étude en classe de Seconde (15-16 ans), Chemistry Education : Research and Practice in Europe, No. 1, pp. 61-75.
54. Laugier, A. & Dumon, A. (2004). L'équation de réaction : un nœud d'obstacles difficilement franchissable, Chemistry Education : Research and Practice in Europe, vol.5, No 1, pp. 51-68
55. Loughran J., Mulhall P. and Berry A. (2004). In search of pedagogical content knowledge in science: Developing ways of articulating and documenting professional practice. Journal of Research in Science Teaching, 41(4), pp. 370–391.
56. Loughran J.J., Berry, A. and Mulhall, P. (2006). Understanding and developing science teachers' pedagogical content knowledge. Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
57. Lufimpadio N. (1988). Situation de l'enseignement de la chimie dans le secondaire, Cahiers du Ceruki, Nouvelle série, No. 22, pp. 58-69.
58. Magnusson S., Krajcik J., and Borko H. (1999). Nature, sources, and development of the pedagogical content knowledge for science teaching. In J. Gess-Newsome & N.G. Lederman (Eds.): *Examining pedagogical content knowledge* (pp. 95–132). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
59. Mano M.I. (2006). Regard critique sur le programme et les compétences des étudiants finalistes du secondaire, Mémoire de DEA, Université de Mons-Hainaut, Belgique

60. Mano M.I., Dramaix M. & Villers D. (2007). Enquête sur l'acquisition des connaissances : comparaison entre les situations de la Belgique et de la République Démocratique du Congo, in Bulletin ABPPC, Belgique, pp 83-88
61. Mano M.I. & Villers D. (2011). Questions ouvertes ou à choix multiples : comportements des élèves lors d'un test sur les concepts d'acidité, Bulletin ABPPC 49-189, Belgique, pp. 2-9
62. Mayer K. (2011). Addressing students' misconceptions about gases, mass and composition, *Journal of Chemical Education*, 88 (1), pp. 111–115
63. Méheut, M. (1982). Combustion et réaction chimique dans un enseignement destiné à des élèves de sixième, Thèse de doctorat, Université de Paris 7
64. Méheut, M. (1989). Des représentations des élèves au concept de réaction chimique : premières étapes, *Le Bup*, 83, pp. 997-1012
65. Millar R., Le Maréchal J-F, and Tibergiem A. (1999). Mapping the domain: varieties of practical work. In J. Leach & A. Paulsen (Eds). *Practical work in science education – Recent research studies* (pp 33-59). Roskilde/Dordrecht, The Netherlands : Roskilde university Press/ Kluwer
66. Millar, R. (2004). The role of practical work in the teaching and learning of science, University of York: http://www7.nationalacademies.org/bose/millar_draftpaper_jun_04.pdf
67. Mollard M. (2003). Réussir son Deug en sciences, *Studyrama*, France. pp. 119 – 121
68. Naija R. (2004). Apprentissage des réactions acido-basique : Mise en évidence et Remédiation des difficultés des étudiants lors d'une séquence d'enseignement expérimental, Université de Lyon 2 (Cyberthèses).
69. Nakhleh M-B. (1994). Students' models of matter in the context of acid-base chemistry, *Journal of chemical education*, 7 (6), pp. 495-499.
70. Nakhleh M-B. (1999). Improving teaching and learning chemistry through chemistry Education Research : a look to the future, *Journal of Chemical education*, Vol 76, No 4, pp 548 – 554
71. Ouertatani L., Dumon A. & Soudani M. (2006). Acids and bases: The appropriation of The Arrhenius model by Tunisian grade 10 students, *International Journal of Science and Mathematics Education*, Issue 5, Springer Netherlands, pp. 483-506.
72. Padillaa K., Ponce-de-Leóna A-M, Rembadob F-M and Garritza A. (2008).

Undergraduate Professors' Pedagogical Content Knowledge: The case of 'amount of substance' *International Journal of Science Education*, Vol.30, No 10, pp. 1389-1404

73. Pekdag, B. & Le Maréchal, J-F. (2001). Apprentissage comparé de la notion de réaction chimique en TP ou à l'aide d'une vidéo : rôles des observations faites par les élèves, UMR GRIC-COAST, Université de Lyon 2.

74. Pirson et al. (2004). *Chimie 6ème*, De Boeck, Bruxelles pp. 70-163

75. Plety R. (1996). *L'apprentissage coopérant*, Presses Universitaires de Lyon, France

76. Robinson, W. (1999). A view of the Science Education Research Literature: Student Understanding of Chemical Change, *Journal of Chemical Education*. Vol.76, p. 297

77. Rollnicka M., Bennetb J., Rhemtulaa M., Dharseyc N. and Ndlovua T.(2008). The Place of Subject Matter Knowledge in Pedagogical Content Knowledge: A case study of South African teachers teaching the amount of substance and chemical equilibrium, Vol. 30, No. 10, pp. 1365–1387.

78. Ross, B. and Munby, H. (1991). Concept mapping and misconceptions: a study of high-school-students understanding of acids and bases, *International Journal of Science Education*, 13, pp. 11–23.

79. Schmidt, H-J. (1991). A label as an hidden persuader: chemists' neutralisation concept, *International Journal of Science Education*, 13, pp. 459-471.

80. 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*, 17, pp. 733-741.

81. Schmidt, H.-J. & Volke, D. (2003). Shift of meaning and students' alternative concepts, *International Journal of Science Education*, 25, pp. 1409–1424

82. Sheppard, K. (2006). High school students' understanding of titrations and related acid-base phenomena, *Chemistry Education Research and Practice*, vol.7, Issue 1, pp.42-45

83. Shulman, L.S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching, *Educational Researcher*, 15, pp. 4–14.

84. Shulman L. (1987). *Knowledge and teaching: Foundations of the new reform*, *Harvard Educational Review*, 57 (1), pp. 1-22.

85. Soetewey S., Duroisin N. & Demeuse M. (2011). Le Curriculum oublié : analyse des programmes des sciences en Communauté française de Belgique, *Revue internationale d'éducation de Sèvres*, pp. 123-134.
86. Stavridou H. and Solomonidou C. (1989). Physical phenomena-chemical phenomena: do pupils make the distinction?, *International Journal of Science education*, 11, pp. 83-92.
87. Solomonidou C. and Stavridou H. (1998). Conceptual reorganization and the construction of the chemical reaction concept during secondary education, *International Journal of Science Education*, Vol.20, No 2, pp.205-221.
88. Talanquer V. (2011). Macro, submicro, and symbolic : the many faces of chemistry "triplet", *International Journal of science education*, Vol. 33, No 2, pp 179 – 195
89. Tan et al. (2004). Major sources of difficulty in students' understanding of basic inorganic qualitative analysis, *Journal of Chemical Education*, vol. 81, No 5, pp. 725-732
90. Tiberghien, A. (2000). Designing teaching situations in the secondary school. In R. Millar, J. Leach and J. Osborne (Editors): *Improving science education: the contribution of research*. Buckingham, UK: Open University Press. pp. 27-47
91. Towns M.H. (2001). Kolb for chemists: David A. Kolb and experiential learning theory, *Journal of Chemical Education*, 78 (8), p. 1107
92. Treagust D.F, Chittleborough G. and Mamiala T.L (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science, *International Journal of science education*, vol. 24, No 4, pp. 357–368
93. Tsaparlis G. (2003). Chemical phenomena versus chemical reaction : do students make the connection, *Journal of Chemical Education*, vol.4, No 1, pp.31-43
94. Tsaparlis G. (2009). Learning at macro level: the role of practical work, in J.K.Gilbert; D. Treagust (EDS): *Multiple representation in chemical education*, pp. 109-136
95. Tsaparlis G., Kousathana M. and Demerouti M. (2004a). Acid-base Equilibria, Part I. Upper Secondary Students' Misconceptions and difficulties, *Chemical Educator*, Vol. 9, pp. 122-131.
96. Tsaparlis G., Demerouti M. and Kousathana M. (2004b). Acid-base equilibria, Part II. Effect of developmental level and disembedding ability on students' conceptual understanding and problem-solving ability, *Chemical Educator*, Vol. 9, pp. 132-137.
97. Van Driel J-H. and Verloop N. (1999). Teachers' knowledge of models and modeling

in science, *International Journal of Science Education*, Vol. 21, No 11, pp. 1141-1153

98. Van Driel J-H. and Verloop N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education, *International Journal Science Education*, 24, pp. 1255-1272.

99. Wellington J. (2005). Practical work and the affective domain: what do we know, what should we ask and what is worth exploring further? In *Beyond Cartesian Dualism, Science & Technology Education Library*, Volume 29, Springer, pp. 99-109,

100. Woodley E. (2009). Practical work in school science-why is it important? *SSR 91 (325)*, pp. 49-51

Liste des annexes (sur le support CD)

- Annexe 1. Programmes et acquisition des connaissances (ABPPC, 2007)
- Annexe 2. Les principales conceptions des élèves sur la réaction chimique
- Annexe 3. Protocole expérimental sur le dosage acide-base, test d'acidité
- Annexe 4. Les modèles acide-base dans les manuels et ouvrages scolaires
- Annexe 5. Évaluation aux examens d'état (article Ceruki 2009)
- Annexe 6. Questionnaire destiné aux enseignants 1
- Annexe 7. Texte d'interview destinée aux enseignants
- Annexe 8. Echantillon des copies des réponses fournies par les étudiants
- Annexe 9. Détails sur les réactions des enseignants ...
- Annexe10. Caractéristiques attribuées aux styles d'apprentissage
- Annexe 11. Questions sur les styles d'apprentissage, grille d'interprétation
- Annexe 12. Qcm et questions ouvertes : questionnaire
- Annexe 13. Qcm et questions ouvertes : résultats
- Annexe 14. Questionnaire destiné aux élèves : test 1
- Annexe 15. Questionnaire destiné aux élèves : test 2
- Annexe 16. Questionnaire destiné aux élèves : test 3
- Annexe 17. Manipulations possibles