

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

Ahlem BOULABIAR-KERKENI

***Notions et modèles fondateurs de la
connaissance des élèves et des étudiants
en oxydoréduction***

Préparée sous la direction de M. Jean-François LE MARECHAL et M. Manef
ABDERRABBA
au sein de l'équipe ADIS Groupe COAST UMR-ICAR 5191 (CNRS- Université Lyon 2, ENS-Lyon,
ENS-LSH, INRP)

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

Table des matières

Introduction . .	1
Contexte du travail de recherche .	2
Démarche de la recherche .	3
Organisation du document .	4
Partie A : Cadre théorique de la Recherche . .	7
Introduction .	7
Chapitre A1 : Analyse du savoir savant .	8
I. Définitions des concepts d'oxydoréduction . .	8
II. Potentiel de référence pour chaque couple . .	10
III. La formule de Nernst .	11
IV. Prédiction des réactions d'oxydoréduction dans les conditions de référence . .	13
V. Principe de construction d'une pile . .	15
VI. Expression générale de la f.e.m. d'une cellule . .	16
VII. Du savoir savant au savoir scolaire . .	18
Chapitre A2 : Cadre théorique didactique . .	20
I. Modèle et Modélisation .	21
II. Modélisation de l'activité de l'apprenant : différents modèles en sciences de l'éducation .	30
III. Représentation et systèmes sémiotiques .	36
IV. Théorie des situations de Brousseau .	41
V. Les conceptions .	46
VI. Analyse bibliographique des conceptions des apprenants à propos des réactions chimiques et de l'oxydoréduction . .	49
VII. Notions fondatrices . .	57
VIII. Les facettes des connaissances des étudiants . .	58
IX. Articulations des différents concepts du cadre théorique .	61
X. Questions et hypothèses de recherche .	61

Partie B : Méthodologies de recueil, d'analyse des données et analyse a priori du questionnaire et des situations expérimentales .	63
Introduction .	63
Chapitre B1 : Usage des concepts d'atomistique autour du transfert d'électrons . .	64
I.Choix des niveaux scolaires .	65
II.Tâche papier-crayon . .	66
III.Spécificité et objectifs de la tâche papier-crayon . .	66
IV.Grille d'analyse des activités de modélisation des élèves . .	67
V.Méthode de collecte des données .	69
VI.Entretiens d'explicitation .	70
VII.Principe du traitement des entretiens . .	71
Chapitre B2 : Situations et questionnaire portant sur l'usage des modèles de prédiction d'évolution d'un système oxydoréducteur . .	72
I.Idées Générales sur la stratégie adoptée pour la construction des situations .	72
II.Questionnaire .	73
III.Situations Expérimentales . .	74
Chapitre B3 : Analyse a priori du questionnaire et des situations expérimentales .	76
I.analyse a priori du questionnaire . .	77
II.Analyse a priori de la situation A1 .	89
III.Analyse a priori de la situation A ₂ .	97
IV.Analyse à priori de la situation B . .	100
PARTIE C : Analyse des données recueillies à propos des concepts fondamentaux et des notions fondatrices relatifs à la liaison chimique . .	105
Introduction .	105
I.Tâche papier-crayon . .	106
I.1.Validation de la grille d'analyse des activités de modélisation des élèves . .	107
I.2.Résultats et interprétation de la tâche papier-crayon . .	110
II.Résultats et interprétation des entretiens d'explicitation .	124
II.1.Tableau d'analyse des entretiens d'explicitation .	124
II.2.Interprétation du tableau d'analyse des entretiens d'explicitation .	125

III.Conclusion Générale et implications pour l'enseignement .	125
Partie D : Analyse des données recueillies à propos de l'usage, par les étudiants, des modèles de prédiction de l'évolution d'un système oxydoréducteur . .	129
Introduction .	129
Chapitre D1 : Résultats des Analyses des réponses au questionnaire .	132
I.Analyse des réponses à la question 1 . .	132
II.Résultats de l'analyse des réponses à la question 1 .	137
III.Analyse des réponses à la question 2 . .	138
IV.Résultats de l'analyse des réponses à la question 2 .	147
V.Conclusion .	147
Chapitre D 2 : Résultats des Analyses des transcriptions des binômes pour la situation A1 . .	148
I.Analyse de la situation A1 Expérience 1 .	149
II.Analyse de la situation A1 Expérience 2 .	159
III.Conclusion de la situation A1 .	173
Chapitre D3 : Résultats des Analyses des transcriptions des binômes pour la situation A2 . .	175
I.Résumé des dialogues des étudiants .	176
II.Analyse des activités cognitives des étudiants . .	180
III.Conclusion de la situation A2 .	191
Chapitre D 4 : Résultats des Analyses des transcriptions des binômes pour la situation B . .	194
IV.Analyse de la situation .	195
V.Résumé des dialogues des étudiants .	197
VII.Conclusion de la situation B . .	212
Conclusion .	215
Du constat vers les remédiations .	217
Bibliographie . .	219

Introduction

De nombreuses études des 20 dernières années (Stavridou, 1998) sur les phénomènes et les concepts chimiques traitent de la réaction chimique. La plupart vise à déterminer les explications que les élèves utilisent à propos des réactions chimiques ainsi que leurs conceptions à propos de la structure de la matière ou s'intéresse à distinguer les transformations physique et chimique. Ces travaux montrent alors une compréhension limitée des changements chimiques.

Le concept de réaction chimique est utilisé pour expliquer les phénomènes chimiques et pour traiter, dans certains cas, la transformation de la matière à l'échelle macroscopique (Laugier & Dumon, 2000); le phénomène est chimique si une ou plusieurs substances sont transformées en d'autres substances différentes. L'enseignement du concept de la réaction chimique au niveau du secondaire et du supérieur est basé sur différentes expérimentations durant lesquelles les apprenants utilisent des substances chimiques et observent les réactions.

Si l'enseignement de la chimie a pour but d'aider l'apprenant à concevoir le monde naturel et les phénomènes d'une manière scientifique, la question suivante s'impose alors : est ce que les apprenants utilisent, comme les chimistes, les connaissances fondamentales de la chimie pour expliquer les phénomènes chimiques ? Dans le cas contraire, quelles autres connaissances utilisent-ils ? Cela revient à se poser la question de l'impact de l'enseignement de la chimie sur l'organisation conceptuelle des élèves.

Un autre aspect est aussi important que l'expérimentation : c'est l'usage des modèles en chimie. La connaissance chimique à propos des phénomènes est produite et

communiquée avec l'usage de modèles qui peuvent évoluer et changer selon l'avancement du champ des recherches. Leur production et leur usage occupent une place centrale dans la connaissance en chimie ; la modélisation en chimie est tellement fréquente qu'elle est devenue « la manière dominante de penser »¹ (Luisi & Thomas, 1990). Ceci pourrait se traduire par le fait que les explications concernant la nature des substances et leurs transformations sont essentiellement abstraites ; penser avec des modèles, permet aux chimistes de visualiser les entités et les processus en question (Justi & Gilbert, 2002).

Dans l'enseignement des sciences expérimentales, les démarches de modélisation visent le développement du débat scientifique dans la classe. La modélisation permet alors aux apprenants une réelle prise en compte des phénomènes. Depuis que les modèles d'enseignement sont conçus pour être appropriés au niveau de compréhension des apprenants, ils sont souvent moins sophistiqués que les modèles scientifiques mais ils jouent un rôle similaire et ont les mêmes caractéristiques. Comme les modèles d'enseignement sont construits par des scientifiques ou par des enseignants, les élèves peuvent ne pas être familiers avec certains de ces modèles. De ce fait, la nature arbitraire et contradictoire des modèles multiples peut poser certaines difficultés aux apprenants.

Dans notre travail, nous nous proposons de voir : si l'enseignement d'un nouveau modèle, plus élaboré qu'un ancien mais traitant du même domaine, pose des difficultés spécifiques. Nous essayerons de voir ce qui fait qu'un apprenant utilise plutôt l'ancien ou le nouveau modèle et s'il parvient à discerner les attributs et la validité de chacun d'eux.

Contexte du travail de recherche

Nous situons notre recherche dans le cadre de l'enseignement de l'oxydoréduction et plus particulièrement de l'électrochimie ;

Au lycée², l'enseignement de l'oxydoréduction introduit la notion de couple oxydoréducteur et de potentiel de référence du couple oxydoréducteur (noté E° dans la suite). Il s'ensuit un modèle prédictif du sens d'évolution de la réaction d'oxydoréduction: l'oxydant du couple de plus grand E° réagit sur le réducteur du couple de plus petit E° , modèle que nous appellerons « modèle des E° ».

En premier cycle universitaire, ce modèle peut conduire dans certains cas à des prédictions contraires aux observations expérimentales. L'enseignement introduit la notion de potentiel d'électrode dont la valeur est donnée par la loi de Nernst. L'étudiant doit passer de l'utilisation du modèle des E° au modèle de Nernst. Ces deux modèles ont des points communs et des différences. En particulier, le modèle des E° est un cas particulier

¹ « the dominant way of thinking »

² Cela a été le cas en France jusqu'à récemment puisque pour la première fois, les programmes scolaires en classe de Première S ont supprimé cette notion à la rentrée 2001 et en Terminale S à la rentrée 2002.

du modèle de Nernst.

Le modèle de Nernst est plus général que le modèle des potentiels de référence, car son domaine de validité n'est pas limité aux conditions de référence, mais il fournit le potentiel d'un système chimique à toutes les conditions expérimentales. Le modèle de Nernst met en jeu le concept d'électrode, de couple oxydoréducteur auquel est associée une demi-équation.

Vu la multitude de paramètres que met en jeu le modèle de Nernst, nous faisons l'hypothèse que l'étudiant a alors des difficultés pour passer du modèle des E° , qu'il ne maîtrise peut-être pas complètement à la sortie du lycée, au modèle de Nernst enseigné au premier cycle universitaire.

L'enseignement traditionnel présente E° comme une grandeur caractéristique d'un couple, au niveau de l'enseignement du lycée, puis, lors de l'enseignement du modèle de Nernst, les grandeurs E et E° se retrouvent au sein d'une même expression mathématique. Une partie importante du travail pédagogique consiste à utiliser cette expression, peut-être sans qu'une signification physique n'y soit attachée.

L'équation de Nernst et la demi-équation constituent une technique commode parce qu'utilisable comme au sein d'algorithmes de résolution d'exercices ; ceci fait du potentiel d'électrode un concept purement abstrait. Seule une différence entre le potentiel entre deux électrodes est accessible à la mesure, donc à la compréhension simple. En revanche, il nous semble que s'approprier la signification de la grandeur E° est plus accessible.

Nous nous intéresserons aussi aux problèmes et aux difficultés que posent certains concepts fondamentaux de la chimie (atomes, ions, molécules, transfert d'électrons, liaison chimique...).

L'enseignement de l'oxydoréduction est traditionnellement séparé de l'enseignement de base de l'atomistique. Or, les concepts de base de l'oxydoréduction sont des concepts d'atomistique (molécules, ions, électrons...). Nous avons fait le choix, d'après l'analyse du savoir savant, de quelques concepts d'atomistique que nous avons estimés indispensables à la compréhension du modèle de Nernst. Nous nous proposons de voir si ces concepts de base, à partir desquels est construit le modèle de Nernst, peuvent constituer un frein à la compréhension de ce modèle quand ils ne sont pas appropriés par les élèves.

Démarche de la recherche

D'un point de vue méthodologique, notre problème consiste à analyser la manière avec laquelle les élèves et les étudiants appréhendent généralement les concepts d'atomistique, d'oxydoréduction et particulièrement les modèles de prévision de l'évolution d'un système oxydoréducteur.

La méthodologie adoptée présente les situations suivantes :

- un test suivi d'un entretien portant sur les concepts fondamentaux en atomistique ;
- un questionnaire et trois situations expérimentales (A1, A2 et B) portant sur la prévision de l'évolution d'un système oxydoréducteur.

Pour les deux premières expérimentations de la thèse (test et entretien), nous avons cherché à mettre les élèves en situation d'utiliser des concepts dans le cadre de l'atomistique, pour leur faire développer des connaissances d'un autre cadre, celui de l'oxydoréduction.

A travers le test, nous nous intéressons aux problèmes et aux difficultés que posent les concepts fondamentaux de la chimie (atomes, ions, molécules, liaisons chimiques, réactions chimiques). Ces concepts d'atomistique sont indispensables à l'appropriation du sens des demi-équations en oxydoréduction. A l'aide de notre cadre théorique, nous nous proposons de voir de quelle manière l'apprenant appréhende les concepts fondamentaux d'atomistique ?

L'idée principale de cette expérimentation était d'avoir des informations sur la démarche de l'élève quand il traite les concepts fondamentaux d'atomistique. Tenant compte du fait que l'étude des copies ne nous permettait pas toujours de répondre aux questions que nous nous posions sur la démarche de l'élève, nous avons donc décidé d'avoir un entretien avec quelques élèves, qui présentaient un type de réponses prépondérantes, pour recueillir d'autres renseignements qui nous éclaireraient encore plus sur leurs démarches.

Pour les quatre autres expérimentations de la thèse (questionnaire et trois situations expérimentales), notre but est de recueillir des informations sur ce qui incite les apprenants à choisir entre un modèle et un autre quand il s'agit de prédire l'évolution d'un système oxydoréducteur. Nous avons aussi voulu voir s'il y a des étudiants qui font recours à l'équation de la réaction d'oxydoréduction et donnent du sens à l'équation de Nernst.

Particulièrement pour les situations expérimentales, l'objectif est de confronter une prédiction concernant l'évolution d'un système oxydoréducteur à une observation. Ces situations sont différentes parce que chaque situation met en jeu différentes connaissances et différents modèles ; par conséquent, pour répondre aux différentes questions posées, différents niveaux de modélisation doivent être mis en jeu.

Les copies des élèves, les entretiens individuels, l'analyse des transcriptions des binômes en situations expérimentales, nous ont permis d'obtenir des réponses aux questions que nous nous posions sur leurs démarches quand ils appréhendent les concepts fondamentaux d'oxydoréduction et principalement quand ils prévoient et interprètent l'évolution d'un système oxydoréducteur.

Organisation du document

Ce document est organisé en quatre parties. La première constitue la partie théorique de

en vertu de la loi du droit d'auteur.

notre étude et porte dans un premier chapitre sur le savoir savant et sur l'organisation du savoir à enseigner.

Le second chapitre expose le cadre théorique didactique. Il présente en premier lieu les modèles (Justi & Gilbert, 2002; Vosniadou, 1994; Coll et Treagust, 2003) et l'activité de modélisation dans l'enseignement de la chimie et de la physique (Johnstone, 1993; Tiberghien, 1994). Nous introduisons le modèle sur lequel nous allons nous appuyer pour analyser l'activité cognitive de l'apprenant : modèle des deux mondes (Le Maréchal, 1999 ; Pegdak, Le Maréchal 2001). Le modèle des deux mondes articule : le monde perceptible qui est le monde dans lequel chacun d'entre nous perçoit les mêmes informations et le monde reconstruit par le scientifique dont, par exemple, les atomes font partie. Pour étudier le fonctionnement cognitif de l'élève, nous faisons aussi l'hypothèse que, lors de la résolution d'une tâche, l'analyse des mises en relation, effectuées par les élèves entre ces deux mondes, peut permettre une approche de la construction du sens d'un concept (Tiberghien, 1994).

Les représentations et les registres sémiotiques (Duval, 1993, 1995 ; Bresson, 1987) sont aussi analysés en précisant l'apport de la sémiotique pour notre travail. Nous exposons par la suite les éléments théoriques permettant la création d'une situation adidactique et nous explicitons l'importance du milieu dans tel type de situation. Une telle analyse nous a été indispensable pour la constructions des situations expérimentales adidactiques (A1, A2 et B).

Nous abordons aussi la théorie des conceptions (Teichert & Stacy, 2002; Vosniadou & Brewer, 1992) et l'analyse bibliographique des conceptions concernant la réaction chimique (Van Driel et al., 1998; Stavridou & Solomonidou, 1989), les piles (Boulabiar et al., 2004 ; Ogude & Bradley, 1994 ; Garnett & Treagust, 1992; Sanger & Greenbowe, 1997; Bouraoui & Chastrette, 1999 ; Barral, Fernandez & Otero, 1992), la prédiction de l'évolution d'un système oxydoréducteur et l'usage des potentiels de référence (Garnett & Treagust, 1992), l'évolution d'un système chimique quand l'équilibre est perturbé (Stavridou et solomonidou, 2000)... Ces différents types de conceptions nous ont servis pour l'analyse des résultats concernant la prédiction de l'évolution d'un système oxydoréducteur.

Nous définissons les notions fondatrices en nous basant sur le rapport CNCRE-UMR-GRIC-COAST, CNRS & Université Lumière Lyon-2 (1999). Nous explicitons brièvement de quelles manières nous avons recours à ces notions dans notre travail. Nous abordons aussi dans ce chapitre, les facettes de connaissance des étudiants (Minstrell, 1999) et nous précisons de quelle manière nous nous sommes appuyés, dans notre recherche, sur ces facettes.

La deuxième partie de la thèse porte sur la méthodologie de recueil et d'analyse des données, elle présente deux chapitres.

Le premier est consacré à la description de la méthodologie adoptée pour la réalisation et l'analyse des données relatives au test (portant sur l'usage des concepts d'atomistique). Nous définissons dans ce chapitre l'élaboration de notre grille d'analyse. Nous présentons aussi la technique d'entretien d'explicitation (Vermersch, 1991; Coppée, 1993) que nous avons adoptée.

Le deuxième chapitre est consacré à la description de la méthodologie suivie pour la réalisation du questionnaire et des trois situations expérimentales et aussi pour l'analyse des données recueillies. Ce chapitre présente aussi l'analyse a priori de ces situations (questionnaire, situations : A1, A2, B) selon notre cadre théorique.

La troisième partie est consacrée à l'analyse des données que nous avons recueillies à partir des réponses au test et à partir des transcriptions des entretiens d'explicitation que nous avons réalisées avec quelques élèves sélectionnés. A l'aide de la grille que nous avons construite, nous avons pu dégager des constantes dans les démarches des élèves que ce soit à partir des réponses au test ou à partir des entretiens.

La quatrième partie présente quatre chapitres et expose respectivement les analyses des données obtenues à partir du questionnaire et de chacune des trois situations expérimentales A1, A2 et B. Ces données consistent en des réponses écrites au questionnaire et des dialogues enregistrés et transcrits. Les analyses nous permettent de confronter les résultats de notre analyse a priori avec les démarches des étudiants.

En conclusion, nous faisons un bilan de l'ensemble des résultats obtenus en fonction des caractéristiques des situations proposées aux apprenants. Nous discutons alors la pertinence des réponses apportées aux questions de recherche.

La portée de ces résultats et la proposition des méthodes d'enseignement des modèles de prédiction de l'évolution d'un système oxydoréducteur seront discutés dans une perspective générale d'amélioration des pratiques d'enseignement.

Partie A : Cadre théorique de la Recherche

Introduction

Pour mieux comprendre les problèmes et les conceptions des apprenants à propos de la prédiction de l'évolution d'un système oxydoréducteur et pour avoir une vue critique concernant le savoir à enseigner il est important d'avoir une référence et par conséquent de comprendre le savoir scientifique relatif aux différents concepts d'oxydoréduction et de quelques concepts d'atomistique.

Il est important d'identifier dans le savoir savant les modèles de prédiction de l'évolution d'un système redox et notamment leurs domaines de validité, les concepts fondamentaux de l'oxydoréduction et de l'atomistique autour desquels se construisent le modèle des E° et le modèle de Nernst.

En plus de l'analyse du savoir savant, une analyse didactique nous donnera un éclairage sur la manière avec laquelle se fait l'appropriation du savoir chimique par l'apprenant, sur l'importance des modèles et de la modélisation pour l'appropriation du savoir chimique. Aussi, l'analyse didactique va nous permettre de définir les conceptions, les représentations et les registres sémiotiques qui sont indispensables pour décrire l'acte

enseignement apprentissage en chimie.

Chapitre A1 : Analyse du savoir savant

Les définitions des concepts fondamentaux de l'oxydoréduction et de quelques concepts fondamentaux de l'atomistique pourraient nous permettre de mesurer l'écart entre le savoir scientifique et le savoir à enseigner ou entre le savoir scientifique et le savoir de l'élève.

Aussi l'analyse dans le savoir savant des modèles prédictifs E° (modèle des potentiels de référence) et celui de Nernst, de leurs champs de validité et de leurs applicabilités pourrait nous guider dans l'identification des difficultés des apprenants notamment au niveau de l'utilisation abusive du modèle E° .

I. Définitions des concepts d'oxydoréduction

I.1. Oxydation, Réduction

Ce n'est qu'au Vingtème Siècle, après la découverte de l'électron (J.J Thomson, 1897) et l'introduction du modèle atomique de Bohr (1913) que les réactions chimiques ont été réexaminées à la lumière de ces nouveaux modèles et que les similitudes observées permirent de dégager progressivement le concept actuel d'oxydoréduction qui s'exprime en termes de transferts d'électrons.

D'après Sarrazin & Verdaguer (1991, p.13) :

« Nous appellerons oxydation d'un élément la perte d'électrons par cet élément, et réduction d'un élément le gain d'électrons par cet élément ».

Sarrazin & Verdaguer signalent que ces définitions sont particulièrement bien adaptées aux cas des réactions en solution et des réactions aux électrodes, car le transfert d'électrons peut alors avoir une signification physique.

Une définition générale de l'oxydation et de la réduction d'après Gray & Haight (1982, p. 467) est la suivante :

« L'oxydation d'un composé (atome ou groupement d'atomes) correspond à une perte d'électrons soit partielle (par la fixation d'un élément électronégatif et la formation d'un composé à liaison polaire, soit totale (formation d'ions) ; le processus inverse de l'oxydation est appelé réduction, et correspond à un gain d'électrons ou à la fixation d'un corps électropositif. »

Une définition plus formelle est encore proposée par Sarrazin & Verdaguer :

«... l'oxydation est une augmentation du degré d'oxydation, et la réduction est une diminution du degré d'oxydation.»

I.2. Le nombre d'oxydation

Par ailleurs pour caractériser l'état d'oxydation d'un élément dans un édifice atomique, on définit le nombre d'oxydation n.o. Il s'agit d'une notion théorique, qui reflète la structure électronique.

Le n.o. est un outil utile en chimie. Didier & Grecia (1996) le définissent ainsi :

Pour les ions simples :

« Le n.o. est la charge algébrique (en prenant comme unité de charge la charge de l'électron) portée par l'ion. »

Pour les molécules :

« On attribue fictivement le doublet de liaison à l'élément le plus électronégatif : la « charge » portée par l'ion fictif est par définition son n.o. ».

Il est important de signaler qu'il est possible que dans une même entité contenant plusieurs fois le même élément celui-ci se trouve sous des états d'oxydation différents.

La définition du n.o. est alors en liaison avec la structure du produit étudié.

I.3. Notion d'oxydoréduction

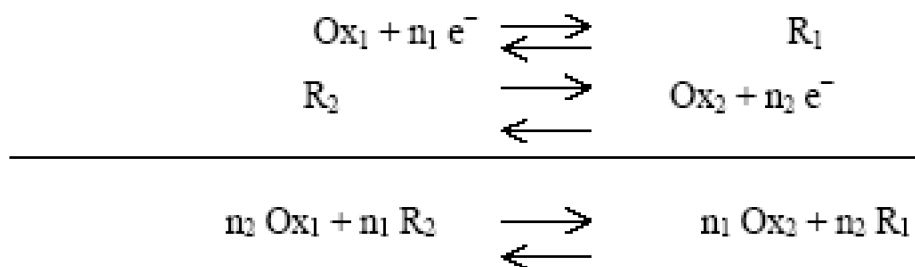
Comme la réaction d'oxydation ne peut s'effectuer que si une réduction a lieu simultanément, alors les réactions mentionnées précédemment qui ont lieu en solution mettent en jeu un échange d'électrons entre oxydant et réducteur. Il s'agit de phénomène d'oxydoréduction.

D'après Sarrazin & Verdaguer (1991, p.14)

« Une réaction d'oxydoréduction fait intervenir deux couples oxydoréducteurs... »

Le transfert d'électrons d'une espèce à l'autre peut se faire par contact « direct » entre les réactifs en solution ou par acheminement des électrons par l'intermédiaire d'un conducteur :

Dans ce dernier cas, on a affaire à une réaction électrochimique. Ceci se produit lorsqu'une pile débite ou au cours d'une électrolyse. Le nombre d'électrons cédés par la cathode est égal au nombre d'électrons captés par l'anode. Son équation chimique peut être considérée comme la superposition de deux demi équations électroniques :



La stœchiométrie de la réaction d'oxydoréduction est obtenue en écrivant que, globalement cet échange électronique est nul.

I.4. couple oxydoréducteur

D'après Bottin & Mallet (1988, p .96) :

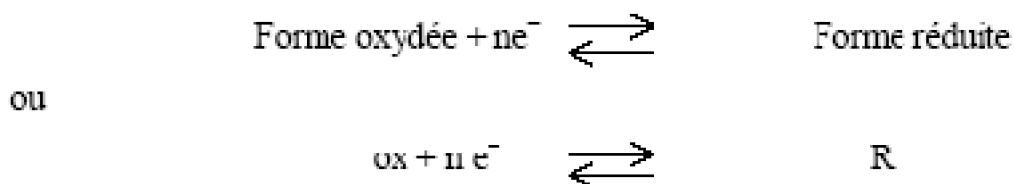
« On nomme oxydant ou forme oxydée, l'état d'un atome qui peut gagner des électrons ; réducteur, ou forme réduite, l'état d'un atome qui peut céder des électrons. »

D'après Didier & Grecias (1996, p .479).

« Un oxydant est une substance dont le n.o. peut diminuer, et réciproquement, un réducteur est une substance dont le n.o. peut augmenter ».

Sarrazin & Verdaguer (1991, p.13-14) abordent la notion du couple oxydoréducteur :

« On est ainsi conduit à considérer la notion du couple oxydoréducteur (également appelé couple d'oxydoréduction ou encore couple redox) qui met en jeu un oxydant et un réducteur conjugué, c'est-à-dire deux espèces chimiques dans lesquelles un élément donné ne présente pas le même degré d'oxydation. Le passage d'une espèce à l'autre du couple peut être représenté par une demi-équation électronique (dite aussi « équation de demi-réaction ») :



L'ensemble de deux espèces chimiques qui se correspondent par échange électronique constitue donc le couple redox qui est conventionnellement écrit dans le sens de la réduction.

II. Potentiel de référence pour chaque couple

Les méthodes électrochimiques se proposent de relier l'échange électronique entre les deux participants du couple oxydoréducteur à la mesure d'une différence de potentiel, voire du passage d'un courant.

Il est assez délicat d'introduire la notion de potentiel oxydoréducteur, parce qu'on ne sait mesurer que des différences de potentiel et donc le mot même de demi-pile est discutable.

Il faut d'abord fixer de façon invariante une des deux demi-piles : l'électrode de référence sera toujours l'électrode normale à hydrogène, le potentiel de cette dernière est donc par convention, pris égal à zéro.

D'après Mallet & Fournié (1997), le couple qui fonctionne dans l'électrode normale d'hydrogène (ENH), dite aussi électrode à hydrogène standard, joue le rôle de couple de référence



La pression partielle en dihydrogène est égale à la pression de référence de 1 bar, l'activité des ions oxonium égale à l'unité, donc la solution d'acide chlorhydrique est de concentration telle que le pH soit nul.

D'après Rosenberg & Epstein (1993), la réaction intervenant dans chaque demi-pile peut être représentée par une équation ionique électronique de même type que celle décrite précédemment, le fonctionnement global de la pile implique que les électrons circulent dans le circuit extérieur.

Les électrons produits au cours de la demi-réaction d'oxydation entrent par l'anode, circulent jusqu'à la cathode dans le circuit externe et sont consommés à la cathode par la demi-réaction de réduction. La cathode est le compartiment où il y a réduction, l'anode est le compartiment où est réalisée la réaction d'oxydation.

D'après le principe d'uniformité du courant, en tous les points d'un circuit non dérivé, le nombre d'électrons produit au cours de l'oxydation doit être exactement égal au nombre d'électrons consommés au cours de la réduction. Ceci exige la même règle de combinaison des deux demi-réactions vues précédemment pour obtenir la réaction globale équilibrée.

Dans la demi pile contenant l'agent réducteur, le produit de l'oxydation s'accumule durant le fonctionnement de la pile. L'agent réducteur et son produit d'oxydation, appelés couple, se trouvent ainsi dans le même compartiment durant le fonctionnement de la pile.

Chaque couple possède une capacité intrinsèque à capter les électrons. A cette capacité, on peut attacher une valeur numérique appelée potentiel d'électrode.

Afin d'avoir une référence, les potentiels de demi-piles sont donnés sous forme de tableau pour tous les produits chimiques dans les conditions de référence de 1 bar pour les gaz, pour la substance pure dans le cas des liquides ou solides et 1 mol l^{-1} pour les solutés non gazeux apparaissant dans les réactions équilibrées de demi-pile. De tels potentiels sont appelés potentiels standard d'électrode ou potentiels de référence d'électrode et sont désignés par le symbole E° . Le même symbole est utilisé pour le potentiel de référence de la pile, valeur que l'on peut mesurer lorsque tous réactif et produit sont dans les conditions de référence.

D'après Mallet & Fournié (1997) pour déterminer le potentiel oxydoréducteur de référence du point de vue électrochimique, on se base sur une étude expérimentale donnant la f.e.m. de la cellule déjà décrite à une température donnée. On fait varier les concentrations, on construit un tableau de résultats puis on extrapole les f.e.m. apparentes obtenues. A dilution infinie, seule condition où les activités coïncident avec les concentrations, on obtient la f.e.m. de référence E° .

III. La formule de Nernst

D'après Bottin & Mallet (1988) la formule de Nernst donne l'expression du potentiel d'électrode appelé potentiel oxydoréducteur de la solution.

Pour un couple oxydoréducteur dont la demi-équation s'écrit :

en vertu de la loi du droit d'auteur.



le nombre des électrons échangés étant z , le potentiel redox s'exprime par :

$$E = E^\circ + \frac{0,0595}{Z} \text{Lg} \frac{(\text{ox})}{(\text{Red})}$$

La formule de Nernst est le résultat d'une étude thermodynamique du système : par conséquent les concentrations en oxydant et en réducteur ne sont encore que le rapport sans dimensions de la concentration effective de l'espèce à la concentration unité.

Sarrazin & Verdaguer (1991, p.47) donnent une expression générale de la loi de Nernst. Selon eux cette relation permet d'exprimer le potentiel d'oxydoréduction d'un couple en fonction de l'environnement dans lequel il est placé.

La relation de Nernst est associée a une demi-équation électronique. Considérons une demi-équation électronique de forme très générale, dans laquelle interviennent les espèces A_i et A'_i affectées des coefficients stœchiométriques ν_i et ν'_i :



Le potentiel d'oxydoréduction $E_{\text{OX} / \text{R}}$ s'exprime en fonction du produit des activités des espèces apparaissant dans la demi-équation électronique comme indiqué ci-dessous :

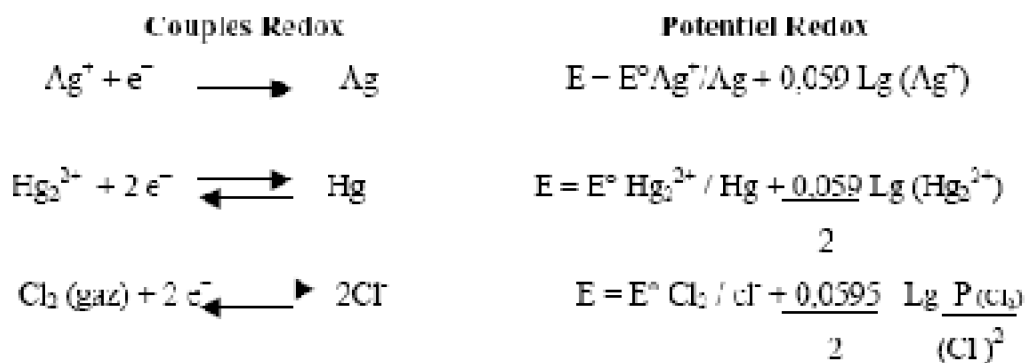
$$E_{\text{OX} / \text{R}} = E^\circ_{\text{OX} / \text{R}} + \left(\frac{RT}{nF} \right) \text{Ln} \frac{a_{\text{ox}}^{\nu_{\text{ox}}} \prod_i a_{A_i}^{\nu_i}}{a_{\text{R}}^{\nu_{\text{R}}} \prod_i a_{A'_i}^{\nu'_i}}$$

$E^\circ_{\text{OX} / \text{R}}$ est le potentiel normal (ou potentiel de référence) du couple; c'est le potentiel du couple OX / R dans les conditions où les espèces ox , R , A_i et A'_i sont dans leur état de référence.

Il est a remarquer que :

- A 25° C, $(RT / F) \text{Ln} \times 0,059 \text{Lg}$, les potentiel étant exprimés en volt.
- Les espèces chimique solides ou dans une autre phase condensée n'apparaissent

pas dans le terme logarithmique, pour un gaz on utilise sa pression partielle.



IV. Prévion des réactions d'oxydoréduction dans les conditions de référence

Dans les conditions de référence et grâce à la mesure des potentiels (de référence) E° , on peut classer tous les couples redox, sur une même échelle.

On constate que les métaux alcalins, qui sont très électropositifs, sont les métaux les plus réducteurs, tandis que le fluor, qui est très électronégatif, est un oxydant très fort.

		E° (volt)		
↑ Augmentation de la force de l'oxydant	Ox			Red
		$\frac{1}{2} F_2 \text{ gaz}$	2,87	F^-
		MnO_4^-	1,51	Mn^{2+}
		$\frac{1}{2} Cl_2 \text{ gaz}$	1,36	Cl^-
		$\frac{1}{2} O_2 \text{ gaz}$	1,23	H_2O
		Ag^+	0,80	$Ag_{(s)}$
		Fe^{3+}	0,77	Fe^{2+}
		Cu^{2+}	0,34	$Cu_{(s)}$
		H_3O^+	0,00	$\frac{1}{2} H_2 \text{ gaz}$
		Fe^{2+}	-0,44	$Fe_{(s)}$
	Zn^{2+}	-0,76	$Zn_{(s)}$	
	Na^+	-2,71	$Na_{(s)}$	
	Cs^+	-2,92	$Cs_{(s)}$	
				↓ Augmentation de la force du réducteur

Figure 1 : Echelle des potentiels de référence

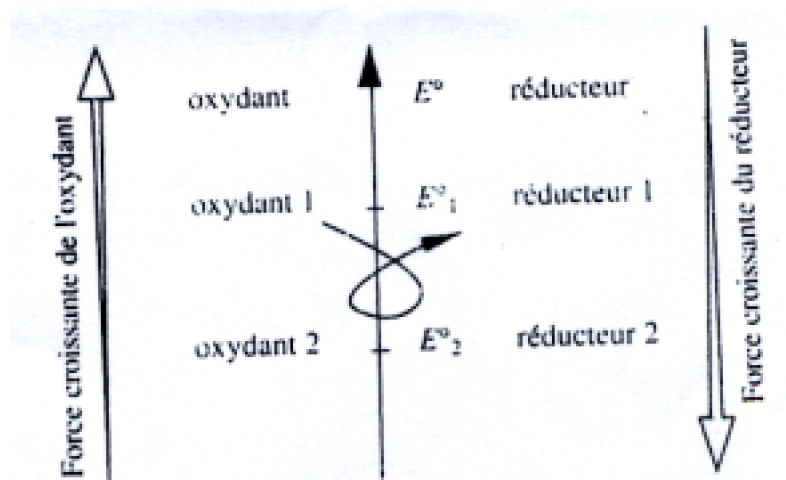


Figure 2 : **La règle du gamma**

Considérons deux couples oxydoréducteurs 1 et 2 de la fig. n° (2), dans les conditions de référence l'oxydant du couple 1 de potentiel de référence le plus élevé oxyde le réducteur du couple 2 de potentiel de référence le plus bas. Dans ces conditions, l'oxydant 1 est réduit en réducteur 1 conjugué, le réducteur 2 est oxydé en oxydant 2 conjugué.

L'oxydant le plus fort réagit sur le réducteur le plus fort.

Mais il est à remarquer que la prévision du sens de la réaction à partir des E° est valable lorsque les réactants et les produits sont présents dans les conditions de référence, soit à 1 mol L^{-1} pour les espèces en solution.

Elle reste valable dans les conditions différentes quand la différence de potentiels de référence des deux couples est assez grande.

Il faut aussi que la cinétique le permette ou qu'une couche d'oxyde ne protège pas le solide ou le métal qui devrait réagir.

Dans le cas où plusieurs oxydants sont en présence d'un même réducteur c'est l'oxydant le plus fort (celui qui a le plus grand E°) qui réagit.

De même, si plusieurs réducteurs sont en présence d'un même oxydant, c'est le réducteur le plus fort (celui qui a le plus faible E°) qui réagit.

V.Principe de construction d'une pile

L'intérêt des méthodes électrochimiques est de relier l'échange électronique entre les deux participants du couple oxydoréducteur à la mesure d'une différence de potentiel, voire au passage d'un courant.

Un dispositif réalisé avec des réactions spontanées d'oxydoréduction pour produire un courant électrique est appelé pile électrochimique.

D'après Rosenberg & Epstein (1993, p. 287-288), les conditions expérimentales qui doivent être réalisées sont les suivantes :

Les agents réducteur et l'oxydant ne sont pas en contact l'un avec l'autre, mais sont placés dans des compartiments séparés appelés demi-piles. Chaque demi-pile contient une solution et un conducteur (électrode). 1.

L'agent réducteur ou oxydant d'une demi-pile peut être l'électrode elle-même, une substance solide déposée sur l'électrode, un gaz qui barbote autour de l'électrode, ou le soluté d'une solution dans laquelle baigne l'électrode, voire le solvant même. 2.

Les solutions des deux demi-piles sont reliées entre elles de telle sorte que les ions puissent se déplacer de l'une à l'autre. Parmi les différents dispositifs qui réalisent cette communication, on trouve : 3.

la surface de séparation de deux solutions non miscibles et de densités assez différentes pour que cette surface de séparation soit bien nette; 4. i.

la séparation des deux solutions par une substance poreuse, telle que du verre fritté, de la porcelaine non émaillée ou une fibre perméable aux solutions électrolytiques; ii.

l'insertion d'une solution d'électrolyte (pont salin) assurant le contact entre les deux solutions. ii.

La différence de potentiel qui se constitue entre les deux électrodes peut entraîner la circulation d'un courant électrique si les électrodes sont reliées l'une à l'autre par un circuit conducteur extérieur.

Pour construire une pile on peut réunir une électrode M plongeant dans une solution de l'un de ses sels, à une autre électrode M', plongeant aussi dans une solution de l'un de ses sels, on peut alors :

- mettre en évidence le transfert électronique sous forme d'un courant électrique.
- utiliser l'énergie potentielle chimique sous forme de travail électrique, ceci par mesure d'une f.e.m. On doit alors disposer d'un millivoltmètre de très grande résistance afin de mesurer la différence de potentiel à courant nul.

VI. Expression générale de la f.e.m. d'une cellule

D'après Bottin et al. (1989, p. 142-143) si on travaille avec une cellule sans jonction liquide, la solution unique étant nécessairement au même potentiel Vs.

On fait alors facilement apparaître la différence de potentiel entre les deux métaux constituant les pôles, à partir des deux tensions inter faciales ($V_{M'D}$) et ($V_{M'G}$):

$$\begin{aligned}\Delta E &= (V_M)_D - (V_M)_G, \text{ car l'électrode de droite constitue le pôle positif} \\ &= (V_M - V_S)_D - (V_M - V_S)_G\end{aligned}$$

La f.e.m. d'une cellule apparaît donc comme la différence de deux tensions interfaciales métal / solution, tensions connues par les expressions du potentiel électrochimique. Dans cette différence le potentiel chimique de l'électron disparaît. Il apparaît une expression du type.

$$\Delta E = \Delta E^\circ - \frac{RT}{ZF} \ln \frac{a_{\text{Red}}^D a_{\text{Ox}}^G}{a_{\text{Ox}}^D a_{\text{Red}}^G}$$

Où ΔE° différence des tensions d'interfaces normalisées représente la f.e.m. normalisée de la cellule.

Dans le cas d'une cellule avec jonction, les deux compartiments sont reliés par un pont salin.

Dans le cas où le pont salin est de bonne qualité on a un potentiel de jonction extrêmement faible, nul dans les meilleurs cas.

On calcule dans cette hypothèse la f.e.m. de la cellule à partir des différences de potentiel d'interface métal / solution.

$$\begin{aligned}\Delta E &= (V_M)_D - (V_M)_G = (V_M - V_S^D)_D - (V_M - V_S^G)_G \\ &= (V_M - V_S)^\circ_D - (V_M - V_S)^\circ_G - \frac{RT}{ZF} \ln \frac{a_{\text{Red}}^D a_{\text{Ox}}^G}{a_{\text{Ox}}^D a_{\text{Red}}^G}\end{aligned}$$

On obtient la relation générale :

$$\Delta E = \Delta E^\circ - \frac{RT}{ZF} \ln \frac{a_{\text{Red}}^D a_{\text{Ox}}^G}{a_{\text{Ox}}^D a_{\text{Red}}^G}$$

A modifier de façon classique lorsque les coefficients stœchiométriques ne sont pas tous égaux à l'unité.

VII. Du savoir savant au savoir scolaire

Dans l'objectif d'expliquer certaines difficultés que peuvent avoir les apprenants lors de l'appropriation des concepts fondamentaux de l'oxydoréduction, nous allons présenter une brève analyse des programmes de l'enseignement français du secondaire (niveaux de la seconde et de la première S). Nous nous proposons aussi de comparer l'organisation et l'articulation des différents concepts d'atomistique et d'oxydoréduction dans le savoir savant et dans le savoir à enseigner.

VII.1. Concepts fondamentaux en atomistique relatifs au savoir savant

Les concepts que nous allons mettre en jeu dans cette étude sont ceux relatifs aux échanges d'électrons entre deux entités chimiques avec l'objectif de créer une liaison chimique. Dans son ouvrage de base traitant la constitution d'une liaison chimique, Gillespie (1972) expose la théorie concernant la constitution des liaisons chimiques. On constate que les concepts d'électron, d'atome, d'ion de molécule et d'élément chimique sont primitifs (ils ne sont pas définis bien qu'abondamment utilisés). Il évoque les concepts de couches électroniques, de noyau et d'énergie. Il précise que la couche électronique K est saturée quand elle contient 2 électrons alors qu'il en faut 8 (règle de l'octet) et 18 pour les couches L et M respectivement. Le concept de doublet d'électrons joue un rôle prépondérant. L'auteur se réfère à la théorie de Lewis et identifie la liaison chimique (covalente) à une paire d'électrons partagés.

VII.2. Concepts fondamentaux d'atomistique retrouvés au niveau du savoir transposé

L'analyse du contenu d'enseignement pourrait nous éclairer sur la matière avec laquelle sont introduits les concepts fondamentaux aux apprenants et éventuellement sur la manière avec laquelle ils sont articulés.

Concernant le savoir transposé, les connaissances d'atomistique considérées comme fondamentales font partie, dans l'enseignement scolaire Français, du programme de seconde³. Elles sont introduites dans l'ordre suivant :

- modèle de l'atome : noyau (protons et neutrons), électrons : nombre de charge et numéro atomique Z, nombre de nucléons A, charge électrique élémentaire, charge des constituants de l'atome, électroneutralité de l'atome;
- élément chimique : définitions des ions monoatomiques, caractérisation de l'élément par son numéro atomique et son symbole, conservation de l'élément au cours des transformations chimiques;
- modèle du cortège électronique : répartitions des électrons en différentes couches appelées K, L, M, répartition des électrons pour les éléments de numéro atomique Z compris entre 1 et 18

³ Le programme analysé est relatif à l'année scolaire 1999-2000

- les règles du duet et de l'octet
 - énoncé des règles de stabilité des atomes de gaz nobles, inertie chimique.
 - application aux ions monoatomiques stables.
 - application aux molécules à l'aide du modèle de Lewis de la liaison covalente, représentation de Lewis de quelques molécules, dénombrement des doublets d'électrons liants et non liants;
- modélisation de la transformation chimique d'un système : réaction chimique, état initial et état final d'un système, écriture symbolique de la réaction chimique : équation réactifs et produits, ajustement des nombres stœchiométriques;
- bilan de matière.

VII.2.1. Constatations

On constate que parmi les concepts primitifs utilisés par Gillespie, ceux d'atome, d'ions et d'électron sont les premiers présentés dans le programme. En revanche, le concept de molécule résulte dans le savoir à enseigner d'une progression pédagogique.

A part la notion de structure en duet, il n'y a pas de différence entre les concepts présents dans le savoir à enseigner et ceux qui leur correspondent dans le savoir savant.

VII.3. Concepts fondamentaux en oxydoréduction relatifs au savoir savant

Les concepts d'oxydoréduction que nous allons évoquer sont ceux qui peuvent être mis en jeu pour expliquer la création d'une liaison covalente au cours d'une réaction d'oxydoréduction. Sarrazin et Verdager (1991) commencent par définir l'oxydation et la réduction, ils définissent par la suite l'oxydant et le réducteur tout en les reliant au transfert d'électrons. Après ils avancent une définition plus formelle de l'oxydation en se basant sur le nombre d'oxydation, puis ils définissent le couple oxydoréducteur et présentent les demi-équations électroniques, en se basant sur le transfert d'électrons. Ils définissent par la suite la réaction d'oxydoréduction en faisant intervenir deux couples oxydoréducteurs.

Les auteurs introduisent par la suite l'électronégativité et l'énergie des orbitales en essayant de corréliser les propriétés d'oxydoréduction et la structure électronique. Ils définissent l'énergie d'ionisation l'affinité électronique et l'électronégativité.

Après avoir introduit la notion d'oxydoréduction, les auteurs introduisent en seconde partie le degré ou le nombre d'oxydation. En troisième partie les auteurs traitent l'équilibrage d'une équation de réaction d'oxydoréduction.

VII.4. Concepts fondamentaux d'oxydoréduction retrouvés au niveau du savoir transposé

Dans l'enseignement scolaire Français au niveau du programme de Première ⁴, les

⁴ Le programme analysé est celui en vigueur depuis la rentrée scolaire 1999

nouveaux concepts introduits par rapport à la Seconde, et qui peuvent être mobilisés pour expliquer la formation de la liaison au cours d'une transformation chimique, sont introduits de la manière suivante :

- exemples de réactions d'oxydoréduction comme réactions impliquant des transferts d'électrons;
- écriture de chacune des réactions et définition d'un oxydant et d'un réducteur;
- couple oxydant réducteur;
- méthode et formalisme pour l'écriture de l'équation d'une réaction d'oxydoréduction;
- utilisation du tableau périodique pour donner des exemples de réducteurs et d'oxydants.

VII.4.1. Constatation

On constate que les concepts présents dans le savoir savant diffèrent de ceux du savoir à enseigner : il y a absence des concepts de nombre d'oxydation et d'électronégativité au niveau du savoir à enseigner. Par conséquent la progression et la manière d'articuler ces différents concepts s'avère être différentes entre le savoir savant et le savoir à enseigner. De plus nous remarquons que l'écriture de l'équation de la réaction et des demi-équations d'oxydoréduction occupe une place centrale dans le savoir à enseigner et peut générer par conséquent une prédominance d'un langage symbolique qui fait perdre le sens de concepts chimiques pour l'élève.

Transposés de telle manière, ces concepts fondamentaux sont-ils, chez les élèves, fondateurs de nouvelles connaissances ?

Chapitre A2 : Cadre théorique didactique

Notre travail va être concerné par un certain nombre de théories didactiques qui vont être exposées dans ce chapitre. Nous analyserons le modèle et la modélisation en chimie et en sciences de l'éducation . En nous appuyant sur cette analyse, nous exposerons notre cadre théorique : le modèle des deux mondes (Le Maréchal, 1999 ; Pegdak & Le Maréchal 2001). L'analyse didactique portera aussi sur les représentations et les systèmes sémiotiques (Duval, 1993, 1995) et sur leur importance dans la construction des connaissances en chimie ; nous expliciterons l'apport de la sémiotique pour notre cadre théorique. Nous aborderons la théorie des situations de Brousseau (1998) sur laquelle nous nous sommes appuyés pour construire nos situations expérimentales. Nous exposerons aussi la théorie des conceptions et nous ferons une analyse bibliographique sur les conceptions en atomistique et en oxydoréduction ; cette analyse a été exploitée pour rendre compte des difficultés des apprenants lors de la résolution des tâches et des situations que nous leur avons proposées. Nous exposerons aussi les notions fondatrices (Rapport CNCRE-UMR-GRIC-COAST, CNRS & Université Lumière Lyon-2, 1999) et les facettes (Minstrell, 1991) que nous avons utilisées pour la construction de notre grille

en vertu de la loi du droit d'auteur.

d'analyse.

I.Modèle et Modélisation

L'analyse des modèles et de la modélisation est au centre de notre recherche, sans cette analyse il sera difficile de décrire l'activité de modélisation de l'apprenant quand il appréhende les concepts fondamentaux d'oxydoréduction ou quand il prédit l'évolution d'un système oxydoréducteur. Nous nous proposons alors de définir le modèle et le processus de la modélisation, puis d'aborder la typologie des modèles en explicitant davantage les modèles d'enseignement. Nous aborderons aussi les modèles et la modélisation en chimie du point de vue de l'apprenant et de l'enseignant.

I.1.Introduction à la modélisation et au modèle en chimie

Comme la chimie est concernée par les propriétés et les transformations des matériaux, les chimistes sont essentiellement modeleurs des substances qui constituent ces matériels et de leurs transformations. Ils cherchent aussi à faire des prédictions à propos des conditions nécessaires pour l'occurrence des transformations désirées et aussi pour l'empêchement de celles non désirées. Les chimistes modélisent à la fois le phénomène qu'ils observent et les idées avec lesquelles ils essayent d'expliquer ces phénomènes qui sont au niveaux macroscopiques et sub-microscopiques (Johnstone, 1993). Ceci s'effectue en faisant l'analogie avec ce qu'ils connaissent précédemment. Les produits d'un tel processus sont exprimés dans des modes de représentation, concrets, visuels, mathématiques et ou verbaux. Ceci se fait parfois en utilisant des symboles spéciaux qui constituent le langage chimique (formules des composés). Plus encore, les chimistes sont capables de transformer les modèles d'un mode de représentation à d'autres représentations équivalentes dans d'autres modes (Koama & Russel, 1997).

Depuis leurs productions, « les idées chimiques » étaient modélisées visuellement, mathématiquement ou verbalement. Cependant la production des premiers modèles concrets de l'atome par John Dalton au début du dix-neuvième siècle, était un point de départ, de manière que les modèles avaient contribué au développement de la connaissance chimique. En le suivant, plusieurs chimistes (Van't Hoff, Pauling...) ont utilisé des modèles pour développer et discuter leurs idées à propos des structures moléculaires. Ceci leur a permis de prédire le comportement des substances qu'ils ont modélisé (Francoeur, 2000). Par conséquent les modèles moléculaires sont devenus des outils obligatoires dans l'étude de la stœchiométrie, des propriétés et des réactivités des substances qui, à leur tour, corroborent la théorie atomique (Francoeur, 1997).

Ces dernières années, les modèles informatisés⁵ et la modélisation avaient pris une place importante dans les recherches en chimie. Selon Justi & Gilbert (2002) deux facteurs semblent avoir contribué à cela :

Premièrement, l'étude des dynamiques des réactions chimiques, des mécanismes selon lesquelles elles se déroulent, requièrent la production de modèles plus complexes

⁵ computational models

(modèles moléculaires statiques et rigides et aussi les formules et les équations).

Deuxièmement, l'introduction de la mécanique quantique qui fournit à la chimie de nouveaux programmes de recherche permet aux chimistes de dépasser les descriptions qualitatives et de prédire les propriétés des matériaux qui ne sont pas encore synthétisés (Erduran, 2001 ; Mainzer, 1999).

La didactique tente de modéliser les apprentissages pour en fournir l'intelligibilité. Selon Vergnion (1993), la didactique procède de façon pragmatique, par l'analyse de situations observées, à la rationalisation de ces situations à travers des modélisations.

Dans l'enseignement des sciences expérimentales, les démarches de modélisation sont largement dépendantes de l'engagement de leurs promoteurs dans une idéologie de développement du débat scientifique dans la classe, et dans la démarche scientifique comme horizon des activités d'investigation proposées lors d'un apprentissage (Johsua & Dupin, 1993). La modélisation permet alors aux apprenants une réelle prise en compte des phénomènes. Selon Astolfi et Drouin (1992), la modélisation permet aux apprenants non seulement de comprendre certains phénomènes, mais aussi de prévoir le comportement de certains systèmes. Mais ceci ne conduit pas nécessairement les apprenants à abandonner leurs conceptions non scientifiques, les auteurs décrivent alors le rôle de la modélisation de la manière suivante :

« le rôle de la modélisation demeure donc modeste : destinée à répondre à un problème local (voir à plusieurs) qui n'a pas de solution hors du recours à elle, elle n'a pas prétention à balayer tout le champ scientifique » (Astolfi et Drouin, 1992, p. 117)

I.2. Typologie des modèles

Un modèle est une image simplifiée ou une représentation d'un objet complexe ou d'un processus (Kinnear & Martin, 1992).

Selon Bachelard (1979), le modèle est un instrument d'intelligibilité d'un réel dont la complexité des propriétés ne permet pas l'entière compréhension par la science.

« Il ne représente pas l'ensemble des propriétés du réel, mais seulement certaines des propriétés. Il aide à sélectionner les données d'une expérience, il sépare le pertinent du non pertinent par rapport à la problématique considérée. Le modèle est un fictif réalisé » (Bachelard, 1979, P. 9)

Les modèles peuvent nous aider à comprendre comment un objet est construit et comment un processus se déroule. Un bon modèle nous aide aussi à faire des prédictions à propos de la manière avec laquelle se comporte un objet ou un système. Cependant, un modèle n'est pas un objet réel et les modèles acceptés peuvent changer si une nouvelle information devient accessible.

Gilbert & Boulter, (1998) définissent le modèle comme une représentation d'une idée, d'un objet, et comme un système dans lequel un objet est relié à un analogue. En se basant sur le travail de Gilbert, Boulter, et Rutherford (1998), les différents modèles se présentent comme suit :

- un modèle scientifique est un modèle qui a été testé par les scientifiques et qui a été

socialement agréé par plusieurs de ces scientifiques comme ayant du mérite

- un modèle d'enseignement est un modèle spécialement construit pour être utilisé par les enseignants afin de faciliter la compréhension des modèles scientifiques
- un modèle mental ou conceptuel est une représentation personnelle d'un trajet qui émerge des expériences avec plus qu'un exemple d'un événement ou d'un objet
- un modèle exprimé est une version d'un modèle mental qui est exprimé par un individu à travers l'action, le discours ou l'écriture.

Chaque type de modèles a un rôle unique : par exemple, le modèle scientifique n'est pas facile à comprendre et de ce fait un modèle d'enseignement est conseillé pour expliquer les principes scientifiques d'un modèle scientifique (Giordan, 1991).

Depuis que les modèles d'enseignement sont conçus pour être appropriés au niveau de compréhension des apprenants, ils sont souvent moins sophistiqués que les modèles scientifiques mais ils jouent un rôle similaire et ont les mêmes caractéristiques.

I.2.1.Modèles Scientifiques

Gilbert (1993) confirme que les modèles et la modélisation contribuent aux sciences de la manière suivante :

- Le modèle est l'un des principaux produits de la science
- la modélisation est un élément de la méthodologie scientifique
- Le modèle est un instrument majeur d'enseignement et d'apprentissage en sciences de l'éducation

Ces caractéristiques du modèle suggèrent que, si les élèves comprennent et participent d'une manière constructive dans les débats scientifiques, alors ils ont besoin tout d'abord d'apprendre le langage scientifique de la modélisation. Mais le challenge d'apprendre le langage et les représentations multiples des scientifiques, des manuels, et des enseignants amène souvent à inhiber plutôt qu'améliorer l'apprentissage (Cobern & Aikenhead, 1998 ; Sutton, 1991, 1992). Ceci se passe parce que les élèves ne sont pas familiers avec la modélisation scientifique et les limitations des représentations analogiques et métaphoriques (Duit, 1991 ; Gentner, 1983 ; Glynn, 1991)

I.2.2.Modèles mentaux

Les modèles mentaux, d'après Vosniadou (1994), réfèrent à un type spécial de représentation mentale, la représentation analogique, que les individus utilisent durant une activité cognitive. Ils sont aussi des descriptions intrinsèques des idées et des objets qui sont propres à l'apprenant. Les modèles mentaux ne sont pas exacts et corrects mais ils doivent être fonctionnels. D'une perspective mathématique, Kline (1985) affirme que les individus construisent et appliquent les géométries qui existent seulement dans l'esprit humain et qui n'ont jamais été destinées à être visualisées.

Selon Sutton (1992) les modèles mentaux fournissent des « imageries

associées »qui font de la modélisation un processus effectif d'apprentissage ; mais ces mêmes structures font les modèles mentaux très personnels, dynamiques et d'accès difficile.

Vosniadou (1994) a utilisé aussi le terme « modèle mental synthétique » pour décrire les conceptions alternatives évolutives que les apprenants construisent quand ils adaptent leurs modèles mentaux intuitifs aux modèles analogiques de leurs enseignants et des manuels scolaires.

Dans le travail d'Harisson et Treagust (1996), plusieurs interprétations sont faites en termes de modèles mentaux des élèves à propos des atomes et des molécules. Cependant les auteurs confirment qu'ils ne prétendent pas accéder réellement aux modèles mentaux des apprenants. Les auteurs pensent que les enregistrements des commentaires des élèves et de leurs interactions avec l'enseignant et avec les autres élèves, leur permettent d'observer, d'enregistrer et d'interpréter comment peut apparaître le modèle mental ou l'image mentale des entités comme les atomes, les molécules, et les liaisons chimiques.

Les modèles mentaux des apprenants à propos de la liaison chimique

La liaison chimique est l'un des plus importants thèmes de la chimie au secondaire et au supérieur car il inclut l'usage d'une large variété des modèles variant des modèles analogiques simples aux plus sophistiqués et abstraits et ayant une considérable complexité mathématique. Il est difficile d'estimer l'importance des modèles et leur usage pour la liaison chimique, car nous ne pouvons pas voir de quelle manière les atomes et les particules élémentaires sont assemblés. Ceci veut dire que les scientifiques et les apprenants qui veulent comprendre la chimie ont besoin de comprendre les modèles à propos de la liaison chimique. Pour comprendre et expliquer le macroscopique, nous avons besoin d'avoir une image ou un modèle de ce qui se passe au niveau microscopique. En tant qu'enseignant nous devons aider les étudiants à comprendre les notions fondamentale de la chimie, dans d'autres termes les apprenants doivent comprendre les modèles chimiques.

Les modèles de la liaison chimique sont très importants car tout est chimique et tout est composé de substances qui présentent des changements physiques et chimiques. Ces substances résultent des interactions entre ses composants élémentaires qui sont les atomes et les ions. Chaque propriété des substances chimiques (stabilité chimique, réactivité...) peut être expliquée moyennant les modèles de la liaison chimique.

La nature des modèles utilisés dans l'enseignement de la chimie varie selon le niveau scolaire des apprenants. Les étudiants sont alors sensés interpréter une variété de représentation des liaisons chimiques (exemple : formule chimique, modèle de boule et des bâtons), ce qui fait que fréquemment les étudiants trouvent des problèmes et développent alors plusieurs conceptions alternatives (Taber, 1997, 2000, 2001a, b ; Taber & Watts, 1997).

1.2.3.Modèles multiples

Plusieurs concepts scientifiques dépendent de multiples modèles par leurs description et

leur explication. Fréquemment les phénomènes abstraits et non observables sont expliqués moyennant plusieurs modèles (atomes, molécules, et liaisons) parce que chaque modèle élabore une fraction des attributs du phénomène. Pour plusieurs concepts la sommation des modèles, relatifs au concept, est moindre que l'ensemble du phénomène et ceci pour deux raisons : le concept même n'est pas totalement compris, et les modèles couvrent partiellement quelques points. Pour des raisons épistémologiques, aucun modèle ne peut seul illustrer complètement un objet ou un processus, car autrement il serait un exemple et non un modèle ; et si le concept est suffisamment compris pour construire un tel exemple, il n'aurait pas de nécessité pour les modèles analogiques.

La propriété des contextes spécifiques des modèles et la liberté de changer de modèles prennent racine d'une vue relative de la connaissance (Perry, 1970). Plusieurs chercheurs ont caractérisé les modèles multiples, flexibles et relationnels comme étant l'essence de la pensée scientifique.

I.2.4.Modèles d'enseignement

Selon Coll et Treagust (2003), les modèles mentaux présentés par les enseignants sont nommés modèles d'enseignement ; ces modèles sont différents des modèles scientifiques. Gilbert et al. (2000) proposent une description des modèles d'enseignement qui satisferont à un certains nombre de critères.

Selon Gilbert et al.(2000), le modèle d'enseignement doit satisfaire aux critères suivants :

- Les entités qui composent les modèles et les relations entre ces entités doivent être clairement comprises.
- Le niveau de détail de l'explication que fournit le modèle, répond aux besoins des élèves.
- Le modèle doit être compréhensible pour les élèves.
- Le modèle doit former un lien clair entre la théorie et le phénomène à expliquer.
- Le modèle doit être linguistiquement bien présenté.

Ces critères donnent des éclairages sur la manière avec laquelle nous pouvons enseigner avec des modèles.

I.2.4.1.Modèles analogiques dans l'enseignement

L'usage des symboles chimiques, des formules et des équations est un langage métaphorique sans lequel la chimie ne peut pas survivre (Harisson & Treagust, 1998). Les enseignants introduisent les symboles, les formules et les équations comme des représentations analogiques, mais la plupart du temps ils les utilisent ensuite comme des représentations métaphoriques.

Harisson et Treagust (2000a) proposent des recommandations pédagogiques à propos de l'enseignement avec les modèles analogiques :

- Les élèves ne sont pas censés interpréter des modèles qu'ils n'ont pas construits ou expérimentés.
- La nature arbitraire des modèles et leur usage comme un artéfact doit être explicité. Cependant la nature contradictoire des modèles multiples doit être comprise par les enseignants et les concepteurs de manuels scolaires. Selon Grosslight et al. (1991), les enseignants doivent être conscients de la différence entre les modeleurs experts (les enseignants) et les modeleurs naïfs (les élèves).
- La légitimité des modèles multiples doit être introduite au début de l'enseignement puis développée et discutée fréquemment au cours de l'apprentissage car la compréhension de ces modèles multiples ne peut évoluer qu'à travers une longue période d'application.
- Les enseignants doivent être conscients des conceptions évolutives de leurs élèves à propos des modèles utilisés en classe. Les auteurs recommandent aux enseignants d'écrire des explications qualitatives à propos des modèles ; ils conseillent l'usage des modèles pour la résolution de problèmes, ce qui permet aux élèves d'explorer différents modèles.

I.2.4.2. La compréhension des étudiants de la nature descriptive et prédictive des modèles d'enseignement en chimie

Les deux fonctions principales des modèles d'enseignement sont leurs rôles descriptif et analytique, le rôle descriptif étant plus observable que le rôle prédictif. Un modèle descriptif permet de montrer comment une entité apparaît et à quelle autre entités elle ressemble ; elle permet aussi de montrer comment l'entité se comporte ; cependant un modèle prédictif est utilisé pour effectuer et tester une prédiction et pour résoudre aussi des problèmes intellectuels et tester des idées.

Treagust et al. (2004) ont mené une recherche concernant la compréhension des étudiants des modèles d'enseignement. Cette recherche porte sur deux thèmes : le premier thème est lié à la nature descriptive des modèles d'enseignement ; le second thème est lié à la nature prédictive des modèles d'enseignement.

Les résultats de cette recherche montrent que :

Pour le premier thème : les étudiants étaient capables de décrire les modèles d'enseignement et leur usage.

Les données qualitatives et quantitatives ont montré que les apprenants ont développé une certaine compréhension de la manière avec laquelle les modèles scientifiques et les modèles d'enseignement doivent être utilisés.

Pour le deuxième thème : les étudiants ont seulement développé une compréhension limitée de la nature prédictive des modèles d'enseignement.

D'après les auteurs, une possible explication est que les étudiants n'ont pas relié les attributs des modèles d'enseignement aux attributs des modèles scientifiques. Une autre inférence c'est que les étudiants avaient une compréhension claire des attributs des

modèles scientifiques mais ils étaient incapables de reconnaître les attributs prédictifs des modèles d'enseignements qu'ils ont utilisés.

A partir de ces résultats, les auteurs proposent que les apprenants fassent la différence entre les modèles scientifiques et les modèles d'enseignement.

Comme les étudiants suivent volontairement l'instruction, en utilisant les modèles pour répondre aux questions chimiques sans apprécier la valeur du modèle dans la détermination de la connaissance, par conséquent il est nécessaire d'explicitier l'usage prédictif des modèles d'enseignement. Ces résultats impliquent que la compréhension théorique de ces étudiants des modèles scientifiques n'est pas nécessairement reliée aux applications pratiques du modèle d'enseignement.

I.2.4.3. Modèles des manuels scolaires

Plusieurs enseignants enseignent les sciences d'une manière compatible avec la description et les explications dans les manuels des élèves. De ce fait les recherches doivent explorer les liens qui peuvent exister entre les modèles des manuels et les points de vue des enseignants à propos des modèles et la modélisation.

Typologie des modèles selon Harisson & Treagust (1998) :

I.2.4.3.1. MODÈLES IONIQUES ET SYMBOLIQUES

Les formules chimiques et les équations sont des modèles symboliques de la composition d'un complexe et des réactions chimiques. (Feynman, 1994 ; Pimentel, 1963). Les formules et les équations sont très implantées dans le langage chimique (Sutton, 1992) de manière que les étudiants et les enseignants prennent ces modèles explicatifs pour une réalité. Les formules et les équations doivent être interprétées ; par exemple, le dioxyde de carbone (CO_2) nécessite sa transformation en OCO , $\text{O}=\text{C}=\text{O}$

I.2.4.3.2. MODÈLES MATHÉMATIQUES

Les propriétés et les processus physiques peuvent être représentés comme des équations mathématiques et comme des graphes décrivant et montrant des relations conceptuelles. Kline (1985) insiste sur le fait que les modèles mathématiques sont les plus abstraits, exacts et prédictifs de tous les modèles. Cependant, le modèle comme $F = ma$ n'est applicable que dans les situations où il n'y a pas de frottement ce qui existe rarement dans les classes et cette limitation doit être identifiée. Il est aussi très important que les étudiants construisent verbalement ou écrivent des explications qualitatives pour les modèles mathématiques (Hewitt, 1992).

I.3. Modèles et modélisation : la perspective de l'apprenant

Les rôles essentiels des modèles et de la modélisation en chimie certifient qu'ils ne doivent pas être négligés dans son enseignement. Au contraire, selon Justi & Gilbert (2000) l'apprentissage de la chimie comprend :

la connaissance des modèles ainsi que leurs limitations,

1.

en vertu de la loi du droit d'auteur.

l'appréciation des rôles des modèles dans l'accréditation des produits de la recherche chimique,

la création et la vérification des modèles chimiques produits par un individu ou par un groupe. En effet, la compréhension des modèles et de la modélisation est essentielle pour l'apprentissage de la chimie

Grosslight et al. (1991) constatent que certains apprenants pensent que les modèles sont similaires soit à des jouets soit à des copies de la réalité. D'autres pensent que les modèles sont créés pour une raison et un objectif déterminés. Contrairement aux apprenants, les experts conçoivent qu'un modèle est créé pour tester des idées et qu'il n'est pas une copie de la réalité. Ils affirment aussi que le modeleur a un rôle actif dans sa construction qui répond à un objectif spécifique. De plus les experts ont l'idée que les modèles peuvent être testés et changés dans le but de suivre l'évolution des idées.

Harisson & Treagust (1996) ont exploré les modèles mentaux des étudiants à propos des atomes et des molécules. Les auteurs ont trouvé que la majorité des étudiants (58%) pensent qu'il y a une forte corrélation entre la structure des molécules et la réalité. En effet la majorité des étudiants décrivent l'atome comme une balle ou une sphère. Dans une recherche similaire Ingham & Gilbert (1991) ont constaté que presque tous les étudiants conçoivent que les modèles correspondent à la réalité. Selon ces auteurs, ceci peut être expliqué par le fait que les modèles enseignés sont délibérément utilisés pour présenter la structure proposée pour l'organisation des atomes dans une substance donnée. C'est à travers ces processus de représentation qu'une structure donnée devient visible (Francoeur, 2000). Par conséquent si les étudiants croient que la réalité peut avoir les structures proposées, il en est alors possible d'établir la correspondance avec la représentation. De plus, la plupart de ces étudiants ont souligné quelques fonctions pour les modèles telles que leur usage pour faciliter la visualisation des entités abstraites. D'après Hardwicke (1995), pour que les étudiants soient capables d'utiliser ces modèles pour expliquer et prédire les diverses propriétés des substances, il faut qu'ils comprennent qu'il s'agit de modèles analogiques avec des limitations.

1.4. Modèles et modélisation : la perspective des enseignants

Dans l'objectif d'enseigner la chimie d'une manière efficace, d'après Justi & Gilbert (2002) les enseignants ont besoin d'une compréhension claire de :

1. la nature d'un modèle en général,
2. la manière avec laquelle leurs étudiants construisent leurs propres modèles mentaux et comment les modèles exprimés résultants peuvent être « constructivement » utilisés en classe,
3. la manière avec laquelle ils introduisent les modèles scientifiques en classe,
4. comment développer de bons modèles d'enseignement, ceux qui sont créés avec un objectif spécifique de faciliter la compréhension des modèles scientifiques,
5. comment conduire des activités de modélisation dans leurs classe (Gilbert, 1997).

Van Driel et Verloop (1999) ont mené, auprès des enseignants des sciences du secondaire, des recherches concernant la compréhension de la nature des modèles. Ils ont trouvé qu'en général les enseignants pensent que le modèle est une représentation simplifiée et schématique de la réalité. Ils considèrent que les modèles ont des caractéristiques rencontrées dans les variétés de modes de représentations et servent pour la description et l'explication, et rarement pour la prédiction. Les auteurs ont également rencontré chez les enseignants l'idée que le modèle apparaît sous différentes variétés de représentation et qu'il est le produit de la créativité humaine.

Harisson (2000) a mené une recherche auprès des enseignants de chimie à propos de leur compréhension de la nature des modèles et à propos des modèles d'enseignement qu'ils utilisent pour fournir des explications dans leurs classes. Tous les enseignants sont d'accord que les modèles sont les principaux produits de la sciences.

D'après l'étude menée par Justi & Gilbert, la majorité des enseignants reconnait le besoin de produire des modèles d'enseignement spéciaux dans l'objectif de les rendre plus compréhensibles par leurs étudiants. Selon ces auteurs 95% des enseignants de chimie interviewés reconnaissent la contribution des modèles et de la modélisation dans l'enseignement. Les enseignants justifiaient ce point de vue par le fait que le modèle rend l'abstrait plus concret, ce qui est essentiel pour leur étudiants.

Les résultats de l'étude de Justi & Gilbert montrent que :

- 33% des enseignants ne savent pas ce que leurs étudiants pensent à propos de la nature des modèles
- 56% des enseignants universitaires de chimie ne fournissent pas à leurs étudiants l'opportunité de s'engager dans des activités de modélisation
- 29% des enseignants acceptent, malgré le fait qu'ils discutent les modèles de leurs étudiants avec eux, que ces modèles soient ignorés comme étant une étape du processus d'apprentissage : les modèles scientifiques sont imposés comme une « réalité ». Ceci peut être expliqué par l'usage intensif des modèles et de la modélisation dans la chimie, par conséquent les modèles sont devenus l'outil principal dans la réflexion à propos de la chimie. Dans de telles conditions, réalité et modèle peuvent converger dans le processus d'enseignement.

A partir des différentes études faites à propos de la modélisation et des modèles vus par les enseignants nous pouvons conclure que :

- les enseignants de la chimie semblent focaliser leurs pratique sur le contenu des modèles plutôt que sur la nature des modèles et de la modélisation (Van Driel, 1998) et / ou sans insister sur le rôle des modèles et de la modélisation dans le développement de la connaissance en chimie,
- il y a très peu d'initiatives pour promouvoir le développement des connaissances pédagogiques des enseignants concernant le rôle des modèles et de la modélisation dans le développement des connaissances chimiques spécifiques.

I.5. Modèles et modélisation dans l'enseignement de la chimie : le rôle des manuels scolaires de chimie

L'analyse des manuels scientifiques montre qu'ils présentent la science comme une collection de faits réels et de formulations mathématiques. Généralement dans ces manuels on n'insiste pas sur les aspects historiques du développement de la connaissance scientifique (Khun, 1996). A propos des modèles et de la modélisation, les manuels de chimie ne discutent pas souvent le sens du mot modèle (Harisson et Treagust, 2000b).

Selon Justi et Gilbert (2002), le rôle des manuels de chimie dans l'enseignement et l'apprentissage des modèles et de la modélisation peut être discuté sous deux angles : la manière avec laquelle les modèles sont introduits dans ces manuels et les modèles d'enseignement qu'ils présentent.

Dans les manuels scolaires, le rôle des différents modèles et la progression entre ces différents modèles dans l'histoire des sciences ne sont pas abordés. De plus, ces manuels ne présentent pas de questions qui requièrent différentes manières de réflexion à propos d'un phénomène donné. Tous ces aspects constituent une entrave à l'appropriation, par les apprenants, des connaissances en chimie.

Un modèle d'enseignement est une représentation produite avec un objectif spécifique pour aider les apprenants à comprendre quelques aspects du contenu (Duit & Glynn, 1996 ; Harisson & Treagust, 1996). Assumant la nature abstraite de la connaissance en chimie, les modèles d'enseignement sont fréquemment utilisés dans les manuels de chimie, essentiellement sous forme d'analogies et de diagrammes. Le domaine auquel leur introduction réellement contribue à la compréhension des modèles chimiques spécifiques étudiés, est spécialement relié à l'atome, à la liaison chimique et à l'équilibre chimique (Justi & Gilbert, 2000 ; Coll & Treagust, 2003). Ces études montrent que les modèles, dans les manuels de chimie, ne contribuent pas à l'amélioration de la compréhensions des apprenants du sens du modèle. Parmi les raisons spécifiques citées par Justy & Gilbert (2002), l'usage des couleurs et d'éléments graphiques inadéquats pour la représentation des modèles. Aussi Justi et Gilbert notent que l'absence des discussions à propos des limitations de ces modèles se répercute sur le bon usage des modèles d'enseignement et des activités de modélisation dans les classes de chimie.

II. Modélisation de l'activité de l'apprenant : différents modèles en sciences de l'éducation

Le modèle des deux mondes (Le Maréchal, 1999 ; Pegdak, Le Maréchal 2001), vise à permettre l'analyse des activités des élèves et des étudiants lors de la réalisation des expérimentations. En fait, les problèmes dans l'enseignement de la chimie sont principalement basés sur des faits expérimentaux appartenant à notre monde perceptible et qui doivent être traduits en termes de substances chimiques, d'atomes, d'électrons, de liaison chimique, de réaction ou d'équation chimique... Pour exposer notre cadre théorique nous allons partir de la théorie de Gabel (1999) et du modèle des trois niveaux de

modélisations de Tiberghien (1944). Nous allons nous développer, avec une philosophie similaire, un modèle qui considère une subdivision plus fine que les trois niveaux de modélisations de Tiberghien.

II.1. Modèle de la triple représentation de la matière

Selon Gabel (1999) la matière, qui peut être observée et étudiée à l'échelle macroscopique, peut aussi être décrite à un niveau microscopique. De plus les chimistes peuvent représenter symboliquement à la fois les niveaux macroscopiques et microscopiques à travers l'usage des symboles chimiques, des formules chimiques et des équations chimiques.

Johnstone (1993) considère que la triple manière de représenter la science (Figure 3) est difficile à être appropriée vu la nature des concepts scientifiques :

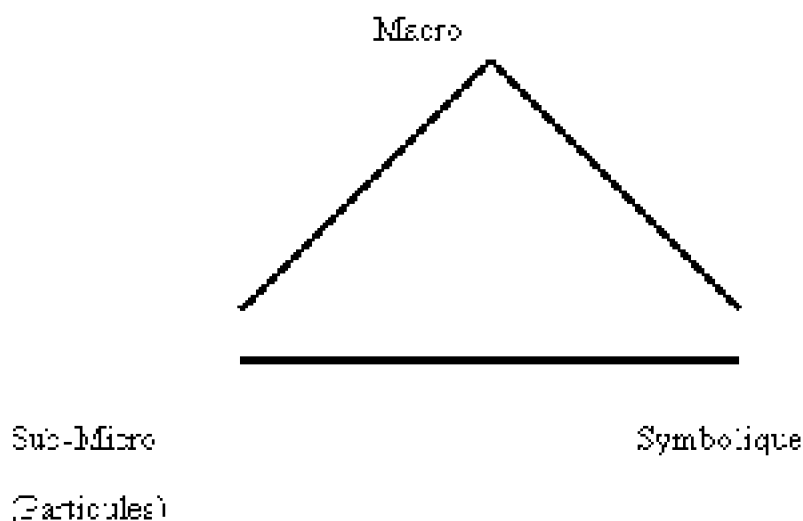


Figure 3 : Les trois niveaux basiques de la chimie : Macro chimie, Sub-microchimie, et chimie symbolique ou représentative (Johnstone, 1993)

Johnstone indique que la compréhension de la science en trois niveaux n'est pas propre à la chimie et par conséquent il utilise des termes qui sont plus généralisables et utilisables en physique et en biologie. Un autre facteur qui s'ajoute à la complexité de la chimie est l'usage fréquent des symboles mathématiques, des formules et des équations pour exprimer les relations à des niveaux macroscopiques et microscopiques.

Johnstone décrit trois niveaux de compréhension des concepts chimiques. Le premier est un niveau macroscopique qui porte sur les phénomènes sensoriels et visibles comme la dissolution du sel solide dans l'eau. Le second est un niveau sub-microscopique, qui porte sur les particules (rupture du modèle ionique par les molécules d'eau) . Le troisième niveau est un niveau symbolique qui représente la matière en terme de formules chimiques et d'équations.

D'après Dori & Hameiri (2003), les apprenants trouvent une difficulté de transfert d'un niveau à un autre, mais les enseignants, la plupart du temps, ne font pas attention à

expliquer ces transitions. Comme remède Johnstone suggère l'insistance sur l'existence de ces trois niveaux et aussi leur association, ce qui pourrait faciliter les transformations dont les apprenants auront besoin pour être performants.

II.2. Modèle des trois niveaux de modélisation

Selon Tiberghien (1994) quand les physiciens interprètent et prédisent les faits expérimentaux, ils n'appliquent pas directement une théorie à la situation, mais en utilisant une théorie choisie ils construisent un modèle des situations expérimentales.

Tiberghien se réfère à Bachelard (1989) pour qui le modèle est toujours relationnel ; il est un intermédiaire et représente seulement quelques propriétés de la réalité mais il n'est pas une imitation du phénomène.

Tiberghien (1994) considère la modélisation en physique comme suit :

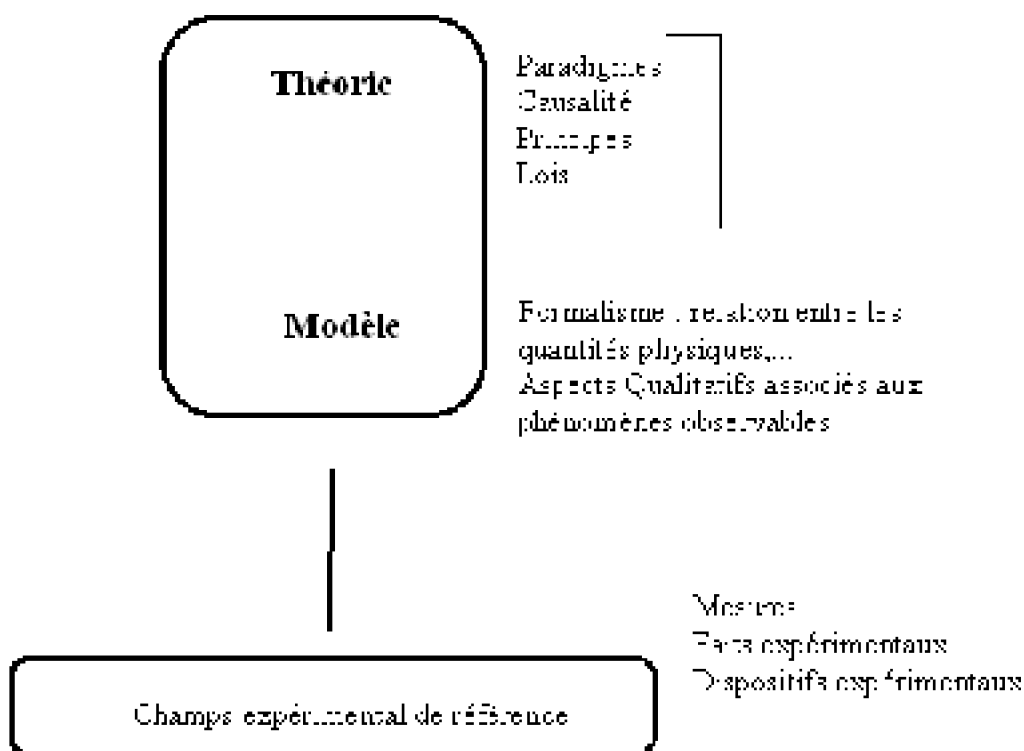


Figure 4 : La modélisation en physique selon Tiberghien (1994)

La vision de Tiberghien (1994) de la modélisation en physique se base sur trois niveaux :

II.2.1. Niveau du modèle

Selon Tiberghien (1994), les modèles consistent en des relations fonctionnelles qualitatives et quantitatives (impliquant les formalismes mathématiques) entre les quantités physiques, dans le but de représenter l'aspect sélectionné d'un état des situations matérielles. Ce niveau de modèle peut être divisé en plusieurs sous-niveaux. Chacun de ces sous-niveaux a une cohérence interne et il est compatible avec les autres.

II.2.2. Niveau de la théorie

Il correspond au système explicatif de la modélisation et comprend les paradigmes, la causalité, les principes, les lois...

II.2.3. Niveau du champ expérimental de référence

Ce niveau correspond aux situations expérimentales qui appartiennent au domaine de validité de la construction théorique (théorie + modèle) en jeu dans la modélisation. Ce champ est constitué des faits expérimentaux, des indications correspondant aux mesures et des dispositifs expérimentaux.

Les trois niveaux différents sont nécessaires dans le fonctionnement de la connaissance en physique et ils interagissent constamment (Figure 5)

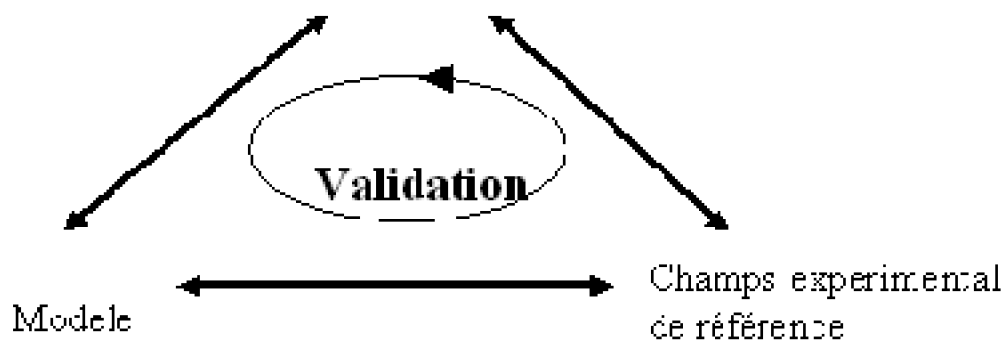


Figure 5 : Niveaux de modélisation en physique (Tiberghien, 1994)

II.3. Modèle des deux mondes

Selon Tiberghien (1994), les connaissances en physique mettent en jeu deux niveaux, celui des objets et des événements (champ expérimental), et celui des théories et des modèles. Le fonctionnement de la physique implique ces deux niveaux, soit pour eux-mêmes soit en relation. Une telle façon de voir les connaissances en physique est peu appropriée pour la chimie qui présente une spécificité. Le monde microscopique

(Johnstone, 1993) peut être très présent dans une explication, de même que les grandeurs, les mesures etc. Notre étude va mettre en jeu des connaissances de cette nature : atome, molécule, électron, liaison chimique, réaction ou équation chimique...

Nous nous sommes appuyés sur ces différentes approches pour adopter une technique d'analyse appelée modèle des deux mondes (Le Maréchal, 1999). Cette approche a déjà été envisagée pour traiter des problèmes dans l'enseignement de la chimie (Le Maréchal, 1999 ; Pegdak, Le Maréchal 2001),

En fait, les problèmes dans l'enseignement de la chimie sont principalement basés sur des faits expérimentaux appartenant à notre monde perceptible et qui doivent être traduits en termes de substances chimiques. Ces derniers constituent et représentent le monde reconstruit. Il s'agit alors de considérer deux types d'objet, les objets perceptibles, ceux qu'on peut voir, toucher etc., comme le sont les solutions, les appareils de mesure, et les objets reconstruits comme les ions, les molécules, les corps purs etc.

II.3.1. Le monde perceptible.

Ce monde est identique au monde des objets et des événements (champ expérimental) que nous avons déjà décrit (Tiberghien, 1994). Cependant, il est pertinent pour notre analyse de considérer également comme sous-catégories supplémentaires leurs propriétés (P) et aussi les mesures (Mes).

En effet, en chimie, un objet perceptible (O) comme une solution peut avoir la propriété de changer de couleur dans certaines conditions, et que l'événement (E) changement soit rapide, ou progressif. Ce sont, respectivement, des propriétés d'un objet perceptible et d'un événement perceptible.

Bien que les mesures mettent en jeu des grandeurs, concepts appartenant au mode théorique, l'activité de mesurer est un événement du monde perceptible. Ce faisant, nous distinguons ce qui relève de l'activité mettant en jeu les objets perceptible d'une part et de l'utilisation (souvent théorique) des valeurs qui en résultent.

II.3.2. Le monde reconstruit

L'univers microscopique est décrit par les chimistes en termes d'objets (o), d'événements (é), et de leurs propriétés (p). Nous considérons ainsi ce monde construit par la pensée avec la même structure que le monde perceptible. Les liens entre les deux mondes peuvent être éventuellement difficiles à établir par les apprenants, et leur analyse est un bon indicateur de l'apprentissage.

II.3.3. Théories et modèles

De même que Tiberghien (1994) évoque l'importance de la relation entre le monde des objets et ce lui de la théorie et des modèles, nous considérons également un tel niveau, mais celui-ci est en relation non seulement avec le monde perceptible mais également avec le monde reconstruit. Ainsi, annoncer qu'un atome H lié à un atome O est plus mobile que s'il était lié à un atome C est de nature théorique ; une telle explication met en relation le monde reconstruit avec le niveau des théories et des modèles.

Le niveau des théories (t) contient donc les systèmes explicatifs, les théories, les lois, des règles empiriques, des formules mathématiques etc. Dans le cas de titrage, nous pouvons imaginer qu'un non chimiste suive un protocole décrivant les étapes de l'expérimentation, c'est-à-dire les instructions du titrage. La règle qui recommande de stopper l'addition de l'oxydant est le changement de couleur ; cette règle empirique ne nécessite pas de compétences chimiques de niveau théorique. En suivant les instructions de titrage un débutant peut obtenir d'excellentes informations.

Les modèles font aussi partie du niveau des théories et peuvent être mobilisés de différentes manières à partir de leurs énoncés ou de leurs expressions. Les modèles auxquels nous allons avoir recours, pour l'analyse de nos données, sont de trois types : modèles chimiques (Mch), modèles numériques (Mnum) et modèles graphiques (Mgr). Nous citons comme exemple le modèle de Nernst qui est un modèle chimique et qui est utilisé pour la prévision de l'évolution d'un système oxydoréducteur.

Les grandeurs, que nous notons par (G) sont les grandeurs chimiques telles que la concentration, la constante d'équilibre, le potentiel...

II.3.4. La structure des deux mondes

Pour analyser l'activité cognitive des élèves, Nous pouvons représenter graphiquement ces deux mondes de la manière suivante :

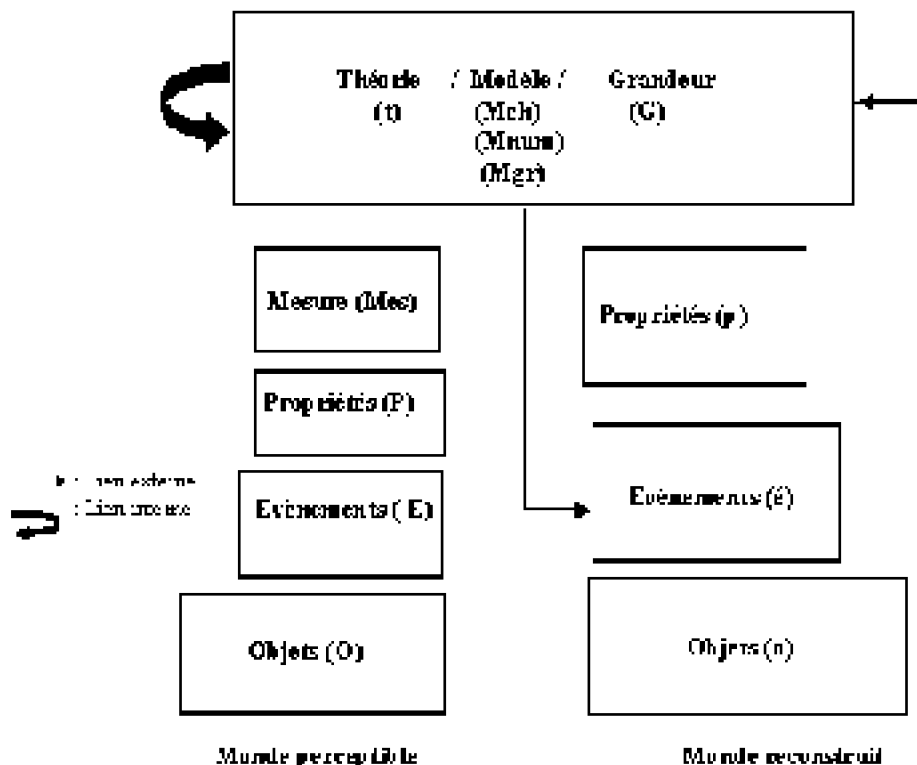


Figure 6 : Structure des mondes perceptible et reconstruit

Les liens entre les différents sous-domaines ou niveaux sont de deux types :

- des liens externes entre deux ou plusieurs sous-domaines différents
- des liens internes entre deux ou plusieurs éléments d'un même sous-domaine

Nous allons nous appuyer sur ce cadre théorique pour décrire les réponses des élèves en les catégorisant dans les différents sous-domaines et en détectant les types de relations entre ces différents sous-domaines.

III.Représentation et systèmes sémiotiques

Le mot représentation a une place importante dans toutes les disciplines, il est utilisé pour désigner une écriture, une notation, un symbole représentant un objet : formule chimique d'une entité... Duval (1993) s'est intéressé aux registres de représentation sémiotique (en

mathématiques) en insistant sur la différence entre un objet et sa représentation.

Selon Duval les objets mathématiques ne doivent jamais être confondus avec la représentation qui en est faite ; la distinction entre un objet et sa représentation est un point stratégique pour la compréhension des mathématiques.

Tenant compte du fait que plusieurs objets ne sont pas directement accessibles dans la perception (atome, molécule...), il faut donc pouvoir en donner des représentants. Par conséquent la possibilité d'effectuer des traitements sur des objets dépend directement du système de représentation sémiotique utilisé.

Il s'agit selon Duval d'un paradoxe cognitif de la pensée car d'une part, l'appréhension des objets ne peut être qu'une appréhension conceptuelle et, d'autre part, c'est seulement par le moyen de représentations sémiotiques qu'une activité sur des objets est possible. Duval note que dans l'enseignement on accorde beaucoup plus d'importance aux représentations mentales qu'aux représentations sémiotiques.

« les représentations mentales recouvrent l'ensemble des images et, plus globalement, des conceptions qu'un individu peut avoir sur un objet, sur une situation, et sur ce qui leur est associé. Les représentations sémiotiques sont des productions constituées par l'emploi de signes appartenant à un système de représentations qui a ses contraintes propres de signifiante et de fonctionnement » (Duval, 1993, pp.38-39) « Les représentations sémiotiques, c'est-à-dire les productions constituées par l'emploi de signes (énoncé en langue naturelle, formule algébrique, graphe figure géométrique...) ne semblent être que le moyen dont un individu dispose pour extérioriser ces représentations mentales, c'est à dire pour les rendre visibles ou accessibles à autrui » (Duval, 1995, pp.2)

les représentations sémiotiques sont cependant déterminantes dans l'évolution des connaissances. D'après Granger :

« Ainsi la formation de la pensée scientifique est inséparable du développement du symbolisme spécifiques pour représenter les objets et leurs relations » (Granger, 1979, P21-47).

Duval appelle sémosis la production ou l'appréhension d'une représentation sémiotique et néosis l'appréhension conceptuelle d'un objet. Il affirme qu'il n'y a pas de néosis sans sémosis et que la coordinations de plusieurs registres de représentations sémiotiques apparaît fondamentale pour qu'elle donne accès à l'objet et pour qu'il ne soit pas confondu avec sa représentation sémiotique. La coordination entre des représentations relevant de systèmes sémiotique différents se base sur un travail d'apprentissage centré sur l'utilisation de ces systèmes, sur leur comparaison et sur leurs « traductions » mutuelles l'un dans l'autre.

III.1.Registres de représentation sémiotique

L'opposition classiquement faite entre langage et image est une première approche de la diversification des registres de représentation sémiotique. Le langage naturel et les langages symboliques ne peuvent pas être considérés comme formant un seul registre.

Aussi, les figures, les graphes, les tableaux, les schémas sont des systèmes de

représentations différents et posent des questions d'apprentissage différentes.

Pour qu'un système sémiotique puisse être un registre de représentation, il doit permettre les trois activités cognitives suivantes :

- la formation d'une représentation identifiable comme une représentation d'un registre donné,
- le traitement d'une représentation est sa transformation interne à un registre (dans le même registre où elle a été formée),
- la conversion d'une représentation est sa transformation en une représentation d'un autre registre en couvrant la totalité ou une partie du contenu de la représentation initiale.

La formation, le traitement et la conversion sont les activités cognitives fondamentales de la sémosis. Ces différentes activités peuvent être regroupées dans des tâches de production ou de compréhension. Les tâches de production peuvent être la production d'une réponse, celle d'un texte ou d'un schéma ; elles mobilisent simultanément la formation de représentations sémiotiques et leur traitement. La compréhension d'une question, d'un texte ou d'une image peut mobiliser les trois activités cognitives.

III.1.1.Coordination des registres sémiotiques

La coordination de plusieurs registres de représentations telle que la mise en correspondance d'un énoncé avec un schéma ou avec un diagramme, n'offre pas les mêmes possibilités de représentation que le langage par exemple. La mise en équation des données de l'énoncé d'un problème présente le passage des expressions linguistiques aux représentations symboliques.

III.1.2.Complémentarité des registres

Le choix de la nature du registre sémiotique pour la représentation d'un objet, d'un concept ou d'une situation est abordé par Bresson (1987). Selon cet auteur, le choix de la représentation impose une sélection des éléments significatifs ou informationnels du contenu que l'on présente. Cette sélection est conditionnée par les possibilités et les contraintes sémiotiques du registre choisi. De ce fait, d'un registre à un autre, ce ne sont pas les mêmes aspects du contenu d'une situation qui sont représentés. Bresson confirme la partialité des représentations par rapport à ce qu'elle représente, par le fait que les figures et de façon générale les représentations analogiques ne peuvent représenter que des états, des configurations mais non des actions ou des transformations. Cependant, pour représenter des opérations, il faut un registre qui ait les propriétés d'un langage tel que la langue maternelle.

III.1.3.Conceptualisation et coordination des registres

Selon Duval (1993), s'il y a un bon choix des registres de représentation et une coordination d'au moins deux registres, les représentations correspondantes permettent alors une compréhension du contenu conceptuel représenté. Duval représente de la

manière suivante la structure des représentations sémiotiques et de leur fonctionnement :

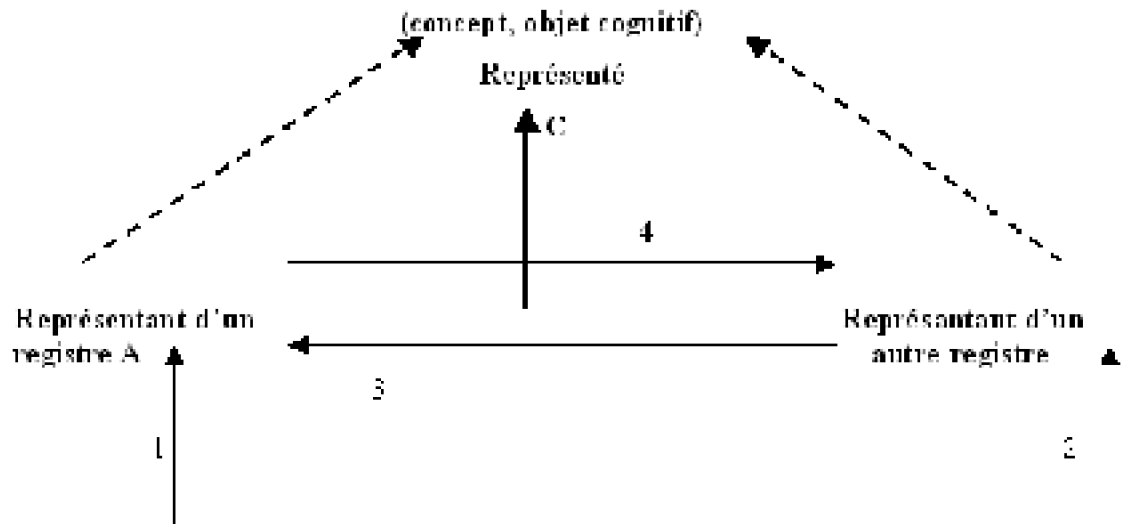


Figure 7 : Structure de la représentation en fonction de la conceptualisation (Duval, 1993, pp. 51)

Les flèches 1 et 2 correspondent aux transformations internes à un registre

Les flèches 3 et 4 correspondent aux transformations externes, c'est-à-dire à des conversions par changement de registre

La flèche C correspond à la coordination des deux registres.

Les flèches en pointillé correspondent à la distinction entre représentant et représenté

La coordination de deux registres (au moins) favorise la compréhension conceptuelle car elle donne plus de sens au concept ou à l'objet abordé. Par conséquent elle permet de favoriser le transfert et les apprentissages ultérieurs.

III.2. Apport de la sémiotique pour notre travail

La richesse des représentations et la coordination entre différents registres de représentation sémiotique constituent un apport important pour l'apprentissage et l'élaboration du sens d'un concept. C'est pour cette raison que nous allons nous pencher sur les différentes représentations et les différents registres auxquels fait recours l'élève dans les situations qu'il aborde. Nous avons alors intégré les représentations avec leurs différents registres dans notre cadre théorique (modèle des deux mondes). Pour ce faire et pour les deux mondes perceptible et reconstruit, les représentations font partie intégrante des différents sous-domaines des deux mondes.

III.2.1.Représentation des objets

Pour le sous domaine des objets et pour un non chimiste, le permanganate de potassium peut être représenté par des mots (liquide violacé) ou par un dessin.

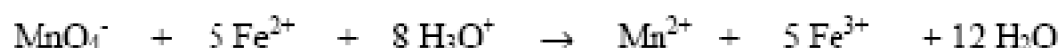
Toutes ces formes sémiotiques sont des représentations de l'objet perceptible. Les représentations du monde perceptible sont aussi utiles pour les chimistes. Les symboles chimiques, les formules développées et la représentation cristalline avec des dessins de sphère, sont d'autres représentations des objets reconstruits.

J-C 59-60 « donc dans cette solution dans ce tube à essai donc dans cette solution on a d'une part I₂ dont la coloration est brune et on a les ions Fe²⁺ »

Pour cette intervention, les objets perceptibles, solution et tube à essai, sont exprimés en langage naturel alors que les objet reconstruits, diiode et fer (II), sont exprimés par leurs symboles.

III.2.2.Représentation des évènements

En ce qui concerne les évènements, les chimistes considèrent que le titrage manganométrique du fer (II) est représenté par l'équation chimique



Les élèves peuvent représenter ce titrage par un dessin en indiquant particulièrement l'équivalence par le changement de couleur qui la caractérise. Il s'agit aussi d'un autre registre de représentation.

J-C 56-57 : « ...on a bien formation de I₂ ce qui explique la coloration la coloration brune de l'iode qui apparaît »

La formation de I₂ est un événement reconstruit exprimé en langage naturel et en symbole, alors que l'apparition de la couleur brune de l'iode est un événement perceptible exprimé en langage naturel.

III.2.3.Représentation des propriétés :

Les propriétés peuvent être représentées par les chimistes dans un registre microscopique : Fe²⁺ est un réducteur car il perd un électron au cours de la réaction de titrage manganométrique.

J-61 « donc on a Fe³⁺ c'est l'oxydant du premier couple »

Les non chimistes décrivent généralement l'objet dans un registre macroscopique, par exemple par sa couleur, son odeur, etc. Ces propriétés peuvent être exprimées en langage naturelle, peuvent être écrites ou représentées à l'aide d'un schéma.

III.2.4.Représentation des théories, des modèles et des grandeurs

Les théories, les lois, les modèles et les grandeurs peuvent être représentés par le langage naturel, par un texte, par une formule symbolique ou même par des graphiques

et des schémas.

Tenant compte du fait que notre recherche est axée sur l'usage des modèles en électrochimie, nous avons alors fait le choix de distinguer ces différents registres aux niveaux des modèles. Les modèles sont alors de trois types : les modèles chimiques faisant appel au registre symbolique et au langage naturel ; les modèles numériques faisant appel au registre symbolique et les modèles graphiques faisant appel au registre graphique.

III.2.4.1. Les modèles chimiques

Ils sont intermédiaires entre la théorie et le champ expérimental. Les apprenants mobilisent ce type de modèle qui peut être, dans certains cas, incorrecte du point de vue de la chimie. Ces modèles peuvent être exprimés par le langage naturel, par un texte écrit ou par leurs formules.

J-C 64-67 (B) « et on sait que pour la réaction redox la réaction redox a lieu entre l'oxydant du couple le plus fort l'oxydant du couple qui a le plus grand potentiel standard avec le réducteur du couple qui a le (...) le potentiel standard le plus faible »

Ces interventions relèvent du modèle chimique et sont exprimées en langage naturel. Le modèle chimique des potentiels de référence peut aussi être exprimé par des symboles :

C 62 (B) « donc E° de Fe^{3+}/Fe^{2+} est plus grand que E° de Fe^{3+}/Fe^{2+} est plus grand que E° de I_2 supérieur au E° de I_2/I^- »

III.2.4.2. Les modèles numériques

Ce sont les modèles qu'utilisent les apprenants pour le calcul numérique, généralement quand les apprenants font usage des valeurs numériques il s'agit d'une activité relevant du modèle numérique telle que la comparaison des valeurs numériques.

C 132 (B) « c'est à dire va augmenter le pH et le pH il va être au voisinage de 13 à peu près une valeur approximative »

III.2.4.3. Les modèles graphiques

Ce sont les modèles explicatifs des apprenants quand ils font référence à un graphe.

Pour l'intervention suivante J commente un graphe de potentiel-pH

J 171 (B) : « nous on été dans cette zone ci pour passer de cette zone à cette zone il fait augmenter E »

IV. Théorie des situations de Brousseau

Les situations expérimentales dans lesquelles se trouve l'apprenant, dans le cadre de notre recherche, sont de type adidactique. Elles influencent l'activité et les processus cognitifs de l'apprenant. La théorie des situations de Brousseau clarifiera leur importance

dans l'appropriation du savoir.

La théorie des situations didactiques de Brousseau est une théorie spécifique dans la construction des connaissances en mathématiques ; cette théorie peut être utilisée comme modèle de fonctionnement des connaissances de l'apprenant en sciences physiques et particulièrement en chimie.

« Une notion apprise n'est utilisable que dans la mesure où elle est reliée à d'autres, ces liaisons constituant sa signification, son étiquette, sa méthode d'activation. Mais elle n'est apprise que dans la mesure où elle est utilisable et utilisée effectivement, c'est-à-dire seulement si elle est une solution d'un problème. Ces problèmes, ensemble de contraintes auxquelles elle répond, constituent la signification de la notion ». (Brousseau, 1983, p. 169-171)

Ainsi selon Brousseau, le sens d'une notion doit être construit par l'élève en réponse à un problème. Par conséquent, l'enseignant ne doit pas donner la connaissance visée à l'élève, mais il doit lui proposer une situation qui lui permet la dévolution d'un problème ou cette connaissance est nécessaire à l'obtention de cette solution.

IV.1.Hypothèses de base de la théorie des situations

Selon Bessot & Grenier (1995), ils y a trois types d'hypothèses sur lesquelles est fondée la théorie des situations de Brousseau : hypothèse psychologique, hypothèse didactique, hypothèse épistémologique.

IV.1.1.Hypothèse psychologique (apprentissage par adaptation)

Le sujet apprend en s'adaptant à un milieu qui est producteur de contradictions, de difficultés et de déséquilibre. Cette hypothèse fait référence à la théorie psychogénétique piagétienne.

IV.1.2.Hypothèse didactique

Un milieu sans intentions didactiques (non organisé pour enseigner un savoir) est insuffisant à induire chez un sujet toutes les connaissances visées. L'enseignant doit procéder par un choix judicieux des situations qu'il propose afin de provoquer chez ses élèves les adaptations souhaitées.

Selon Chevallard (1986), l'enseignant doit prendre en charge la création des conditions de possibilité de l'apprentissage. L'élève acquiert alors le sens de la connaissance en s'adaptant aux situations organisées par l'enseignant.

« L'enseignant n'a pas pour mission d'obtenir des élèves qu'ils apprennent, mais bien de faire en sorte qu'ils puissent apprendre. Il a pour tâche, non la prise en charge de l'apprentissage – ce qui demeure hors de son pouvoir – mais la prise en charge de la création des conditions de possibilité de l'apprentissage. » (Chevallard, 1986, p.97-106)

Hypothèse épistémologique

« il existe pour tout savoir (mathématique) une famille de situations susceptibles de lui donner un sens correct » (Brousseau, 1986, p.33-115)

IV.2.Situation didactique, situation adidactique

Quand le savoir est le fruit de l'adaptation de l'apprenant à un milieu qui est facteur de contradictions, de difficultés, de déséquilibres, la situation est appelée situation adidactique.

Dans de telle situation l'enseignant provoque chez l'apprenant des adaptations souhaitées par un choix judicieux de problèmes qu'il lui propose. Le problème est choisi pour faire acquérir à l'apprenant une connaissance nouvelle.

Selon Brousseau « Chaque connaissance peut se caractériser par une(ou des) situation adidactique qui en préserve le sens et que nous appellerons situations fondamentales ». (Brousseau, 1998, p.59-60)

L'apprenant acquiert donc le sens des notions au cours de son fonctionnement dans des situations adidactiques. Cependant l'apprenant ne peut pas résoudre n'importe quelle situation adidactique, c'est pour cette raison que l'enseignant doit lui en ménager celles qui sont à sa portée.

L'enseignant est donc impliqué dans les interactions de l'apprenant avec les problèmes qu'il lui pose ; il s'agit de la situation didactique. La situation adidactique est celle qui caractérise le savoir, alors que la situation didactique est centrée sur le rôle de l'enseignant d'aider l'élève à dépouiller la situation et à construire la connaissance.

IV.3.Situation adidactique et importance du milieu

L'appropriation du savoir visé ne se réalise que si l'élève s'adapte à la situation et arrive à la solution. Il s'agit alors de la situation adidactique pour laquelle le milieu a un rôle central permettant la validation des productions de l'apprenant. La connaissance visée est entièrement dépendante de l'organisation et de la construction de la situation faites par l'enseignant. Le « milieu » doit être alors un facteur de difficultés et de déséquilibre et l'élève apprend en s'adaptant à ce milieu.

La notion du « milieu adidactique » est introduite par Brousseau comme étant, dans le processus de dévolution antagoniste du système enseigné :

« ...à la fin de l'enseignement, le système enseigné sera supposé faire face, à l'aide du savoir appris, à des situations dénuées d'intentions didactiques. Le savoir enseigné à l'élève est supposé lui donner la possibilité de lire ses relations avec ces systèmes comme des nouvelles situations a-didactiques et par ce moyen, de leur apporter une réponse appropriée. Le milieu est le système antagoniste du système enseigné, ou plutôt, précédemment enseigné ».
(Brousseau, 1986, p. 89)

La construction du sens d'un concept passe par sa mise en œuvre dans un espace limité de problèmes. Selon Tsoumpelis & Gréa (1995), cet espace de problèmes est comparable à celui du « champs conceptuel » au sens de Vergnaud (1981). Si les aspects fondamentaux d'un concept sont impliqués dans une situation problème, nous pouvons, selon Brousseau, caractériser cette situation comme fondamentale.

La confrontation des apprenants avec le milieu adidactique a pour objectif de rendre

inopérantes les solutions indésirables, ce qui favorise les solutions mettant en œuvre les savoirs visés.

IV.4. Différents types de situations adidactiques

Dans la théorie des situations adidactiques, l'apprentissage de l'élève et l'enseignement du professeur sont modélisés en terme de « jeux ». De ce point de vue, l'élève et l'enseignant sont des joueurs.

Selon Brousseau :

« Il est nécessaire qu'il y ait, face au joueur, un partenaire, un milieu, une loi de la nature qui s'oppose dans une certaine mesure à ce qu'il obtienne à tout coup le résultat voulu .» (Brousseau, 1986, p. 83)

Selon Tsoumpelis & Gréa (1995), trois types de situations adidactiques peuvent être définis selon le rôle que la connaissance joue dans les activités des élèves :

- situation d'action, où la connaissance visée est un moyen de contrôle de l'action,
- situation de formulation, où la connaissance visée est un moyen de communication,
- situation de validation, où la connaissance visée est un moyen de preuve.

IV.4.1. Situations d'action

Selon Bessot & Grenier (1995), les situations d'action sont caractérisées par le fait :

- qu'il existe une procédure de base insuffisante,
- qu'il y ait incertitude de l'élève quant aux décisions à prendre,
- que le milieu permette des rétroactions,
- que le jeu soit répétable,
- que la connaissance visée soit logiquement requise pour passer de la stratégie de base à la stratégie optimale.

Dans les situations d'action, les interactions avec le milieu sont organisées de façon que l'élève exprime ces choix et ses décisions par des actions sur le milieu, sans aucun codage linguistique significatif.

Les interactions de l'élève et du milieu dans un jeu adidactique d'action sont représentées selon Bessot & Grenier (1995) comme suit :

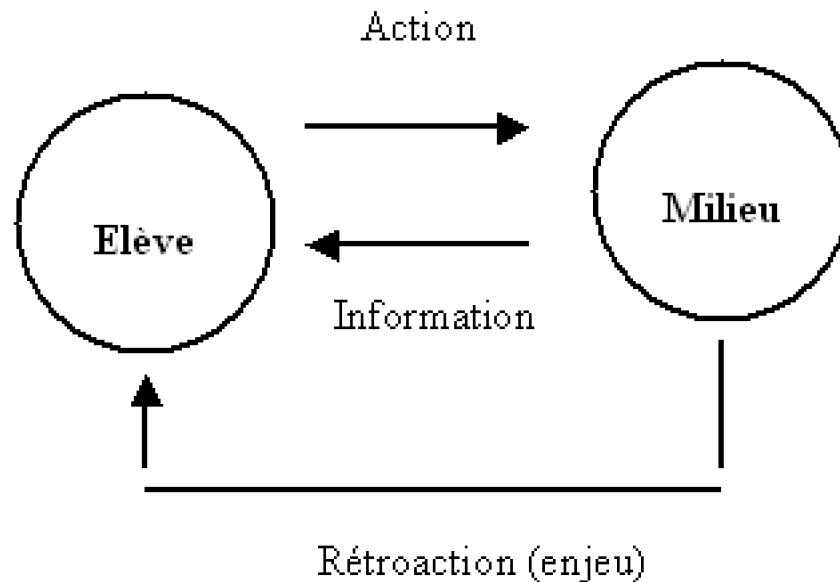


Figure 8 : Les interactions de l'élève et du milieu selon Bessot (1995)

La rétroaction est une information fournie par le milieu et reçue par l'apprenant. Elle est relative à l'action de l'apprenant et peut être négative ou positive. Selon la rétroaction (positive ou négative) l'apprenant ajuste son action sur le milieu en acceptant ou rejetant une hypothèse et en choisissant entre plusieurs solutions.

IV.4.2. Situations de formulation

Selon Bessot & Grenier (1995), les situations de formulation sont caractérisées par le fait :

- qu'il y ait nécessité de communication entre élèves coopérants,
- que les positions des élèves soient dissymétriques sur le plan
- des moyens d'actions sur le milieu,
- ou des informations,
- que le milieu permette des rétroactions.

Les interactions de l'élève et du milieu sont telles que l'élève agit en émettant un message qui est supposé changer l'incertitude du second élève et en général l'état du milieu.

IV.4.3. Situations de validation

Selon Bessot (1995), les situations de validation sont caractérisées par le fait :

- qu'il y ait nécessité de communication entre élèves s'opposant (proposant et opposant),
- que les positions des élèves soient symétriques sur le plan
- des moyens d'actions sur le milieu,
- ou des informations
- que le milieu permette des rétroactions :
- avec le milieu pour l'action,
- avec le jugement de l'interlocuteur.

Les interactions de l'élève et du milieu sont telles que les messages échangés sont des assertions, théorèmes, démonstrations, émis et reçus comme tels.

V. Les conceptions

L'un des objectifs de la communauté des sciences de l'éducation est de développer des méthodes plus efficaces pour l'enseignement des sciences. La prise en compte des conceptions des apprenants permet de faire apparaître les limites de l'enseignement proposé. Ceci pourra aider les enseignants à améliorer l'impact de l'enseignement, tant au niveau de la motivation des élèves que des acquisitions des connaissances.

Pour notre travail, l'étude des conceptions est indispensable, pour la construction des expérimentations ainsi que pour l'analyse des activités et des réponses des apprenants. Pour ce faire, nous allons introduire quelques aspects théoriques à propos des conceptions, par la suite nous aborderons l'analyse bibliographique de conceptions relatives à la réaction chimique et à l'oxydoréduction.

V.1. Conceptions et variétés d'appellation

Selon Nakhleh (1992), des études récentes montrent que les méthodes courantes de l'enseignement des sciences ne sont pas toujours efficaces. Plusieurs décennies avant, le champs de l'enseignement de la chimie a pris beaucoup d'extension, mais les recherches indiquaient qu'après un enseignement de la chimie, les étudiants avaient souvent un manque de compréhension conceptuelle.

D'après Teichert et Stacy (2002), l'un des domaines de recherche qui a attiré l'attention dans la communauté de l'enseignement de la chimie, est l'étude de résolution de problèmes. Les chercheurs ont trouvé que le succès dans la résolution des exercices mathématiques et algorithmiques n'indique pas une maîtrise des concepts scientifiques. Les textes et les enseignants insistent sur ce type d'exercices bien que ces techniques ne sont pas centrées sur les concepts chimiques.

De plus, les étudiants ont de sérieux problèmes avec les concepts chimiques, et les conceptions sont abondantes dans plusieurs domaines de la chimie.

Les conceptions réfèrent à l'incompréhension des étudiants, aux idées qui ne correspondent pas aux idées scientifiques (Nakhleh, 1992). Les chercheurs ont utilisé

beaucoup d'autres termes pour les conceptions, comme misconception, préconceptions, conceptions alternatives, système explicatifs, modèles mentaux des étudiants...

Il y a un consensus général (Nelson, 1977; Novak, 1977; driver & Easley, 1978; Resnick, 1981) qu'une caractéristique signifiante de la connaissance d'une personne est ses connaissances antérieures.

Pour notre travail nous optons pour la définition de A. Tiberghien (1995) selon laquelle une conception est : « un ensemble de procédures hypothétiques que le chercheur attribue à un individu dans le but de rendre compte de ses conduites dans un ensemble de situations données mettant en jeu, pour le scientifique, un domaine conceptuel donné »

Selon Rowell (1990), les misconceptions peuvent être définies comme étant les connaissances explicatives et théoriques qui peuvent être limitées ou incorrectes selon le savoir savant. De telles misconceptions sont dépendantes des connaissances théoriques d'un individu. Elles sont appuyées par l'usage des fausses explications et des généralisations dépassant les limites de validité. Le terme misconception est utilisé pour indiquer une incompréhension d'un concept, la source de cette incompréhension peut être une expérience personnelle ou un ancien enseignement.

Une préconception décrit une idée que les étudiants expriment avant un enseignement général de la chimie (Teichert et Stacy ,2002, Bodner, 1986). Une préconception peut être ou ne pas être une misconception selon l'accord avec la compréhension scientifique.

V.2.Importance de la prise en compte des préconceptions ou des idées initiales des apprenants

Les préconceptions et l'intégration des idées initiales sont toutes les deux importantes pour développer une structure conceptuelle avancée (diSessa, 1994). L'importance des préconceptions apparaît quand les étudiants les intègrent dans une compréhension plus complète; une réelle intégration ne peut avoir lieu que si les idées initiales des étudiants sont prises en considération. En fait les étudiants viennent en classe avec une structure conceptuelle prête, résultante de l'expérience de tous les jours et des anciens enseignements. Par conséquent, l'enseignant doit considérer les deux points suivants :

Les étudiants ont des préconceptions ou des connaissances antérieures de plusieurs concepts chimiques qui peuvent être ou ne pas être scientifiquement correctes,

Les étudiants pourront ou ne pourront pas intégrer ces connaissances antérieures avec le nouvel enseignement en classe.

Si les étudiants maintiennent à la fois leurs idées intuitives et les nouvelles idées enseignées en classe sans qu'ils les intègrent, ils ne peuvent pas connaître quelles idées sont-elle appropriées pour la résolution de problème (diSessa, 1994). De nouvelles idées ainsi que la manière d'utiliser ces idées pour la résolution de problèmes en classe peuvent être enseignées aux étudiants; cependant, si ces nouvelles idées n'étaient pas explicitement comparées aux connaissances initiales des étudiants, ces derniers pourraient tomber ultérieurement dans leurs idées intuitives initiales. L'analyse de diSessa

(1994) des connaissances des élèves de collège en physique montre que, selon les circonstances, les élèves utilisent soit leurs analyses intuitives (qui ne sont pas scientifiquement correctes) soit l'analyse scientifique. Les apprenants n'intègrent pas spontanément leurs idées, même s'ils les explicitent.

Particulièrement si les conceptions sont reliées à certains contextes, les apprenants pourront ne pas les comparer et ne pas s'apercevoir qu'elles présentent des contradictions évidentes. Ceci peut être expliqué par le fait que l'enseignement traditionnel ne demande pas aux étudiants de comparer leurs idées, ce qui ne leur facilite pas la compréhension des concepts visés.

Les études conduites sur les conceptions qu'ont les élèves du monde scientifique (préconceptions, misconceptions, conceptions naïves, cadres de référence alternatifs...) ont conduit à concevoir l'apprentissage en termes de changement conceptuel. Ces études ont en effet montré que non seulement les élèves qui débutent dans un enseignement ont déjà des idées sur les phénomènes et sur les concepts (des mots tels que atomes, force, énergie... sont utilisés dans la vie courante), mais que ces idées et ces concepts diffèrent des modèles et des concepts construits par les scientifiques.

V.3. Caractéristiques des conceptions

V.3.1. inconscience

Les conceptions des apprenants ont comme caractéristique générale d'être souvent implicites et non conscientes : ce n'est souvent qu'à l'occasion des investigations conduites par les chercheurs que les élèves sont amenés à les verbaliser et à en prendre conscience. Les conceptions ont souvent un caractère local, au sens qu'elles ne se rapportent qu'à quelques situations particulières, familières aux élèves : ils diront qu'un objet tombe parce qu'il est lourd. Elles sont centrées sur les propriétés et les fonctions des objets.

V.3.2. Résistance

Selon Resnick (1982), certaines conceptions des élèves sont particulièrement résistantes dans le temps.

« Des résultats très solides attestent que tous les étudiants-les plus faibles comme les plus forts-abordent leurs premiers exposés de science avec des « théories » étonnamment précises sur comment marche le monde naturel. De plus, même après avoir été mis en présence avec de nouveaux concepts et théories dans une classe de science, ils reviennent à leurs théories antérieures pour résoudre les problèmes qui s'écartent des exemples des livres scolaires »

Dupin et Johsua (1993) ont montré que des élèves du niveau universitaire continuent à utiliser, pour le générateur dans un circuit électrique, « un modèle à débit constant ». Les étudiants considèrent le générateur comme devant délivrer la même intensité, quelque soit le circuit où il débite.

V.3.3. Cohérence

Bien que la plupart des chercheurs en éducation s'accordent à accepter l'importance de la notion de conceptions dans l'apprentissage, deux écoles s'affrontent pour les considérer dans le changement conceptuel : le camp de la théorie-théorie et celui des connaissances en «pièces»⁶.

Certaines conceptions sont dotées de cohérence interne remarquables (Driver, 1981 ; Driver 1989) elles servent alors comme bases actives aux raisonnements et aux conduites des apprenants. Les supporters de la théorie-théorie présument alors que les apprenants présentent des conceptions similaires à des théories et le changement conceptuel est caractérisé par la révision de ces théories (Vosniadou & Brewer, 1992).

Les chercheurs qui supportent les connaissances en «pièces» caractérisent les idées des apprenants comme non reliées, fragmentées et ne considèrent pas que les étudiants ont des théories naïves (diSessa, 1988, 1994 ; Minstrell 1989). Dans ce cas le changement conceptuel est caractérisé par la restructuration et la réorganisation de la connaissance à partir des idées initiales des étudiants.

VI. Analyse bibliographique des conceptions des apprenants à propos des réactions chimiques et de l'oxydoréduction

Nous limiterons notre analyse bibliographique des conceptions des apprenants relatives aux réactions chimiques, dont celles d'oxydoréduction, au cas pouvant nous éclairer sur les démarches des apprenants quand il s'agit de prédire ou d'interpréter l'évolution d'un système chimique.

Nous analyserons alors les conceptions des apprenants à propos :

- des transformations chimiques,
- de la réversibilité et l'irréversibilité des réactions chimiques,
- de l'usage des potentiels de référence pour la prédiction de l'évolution d'un système oxydoréducteur,
- de la prévision de l'évolution d'un système chimique quand l'équilibre est perturbé,
- de la notion du couple,
- des piles

VI.1. Réversibilité et irréversibilité d'une réaction chimique

L'étude des conceptions des apprenants sur la réversibilité et l'irréversibilité des réactions chimiques est d'une importance capitale pour notre travail, car la construction des expérimentations sera centrée sur la réversibilité de la réaction chimique. Les étudiants seront alors confrontés à des situations pendant lesquelles la réaction chimique s'inverse. La prise en compte des conceptions des apprenants sur la réversibilité de la réaction chimique pourra alors nous éclairer sur la construction des situations expérimentales et

⁶ knowledge-in-pieces

aussi sur l'analyse de nos résultats de recherche.

Cette analyse sera faite à partir des travaux de Stavridou & Solomonidou (1989) et aussi à partir des travaux de Van Driel et al.(1998).

VI.1.1.Travaux de Stavridou et Solomonidou (1989)

Le concept de la réaction chimique est l'un des concepts centraux en chimie. Ce concept est souvent utilisé dans les cours introductifs pour caractériser la nature de la chimie et sa relation avec la physique. Anderson (1990) remarque que le concept de la réaction chimique est en conflit avec la pensée commune selon laquelle la matière est considérée comme étant continue et statique. Spécialement, l'idée que des substances peuvent être converties en de nouvelles substances n'est pas facilement acceptée. La recherche de Stavridou et Solomonidou (1989) explore:

- les représentations et les conceptions de quelques élèves grecs du concept de la réaction chimique,
- la manière avec laquelle ces élèves catégorisent les transformations physique et chimique de la matière

La méthodologie utilisée par ces chercheurs permettait aux élèves de catégoriser des phénomènes physiques et chimiques. Par la suite ces élèves ont été interviewés individuellement pour expliciter leurs raisonnements.

D'après cette recherche les réponses des élèves et les interviews montrent qu'ils y a clairement une évocation des notions de réversibilité et d'irréversibilité. Les auteurs donnent des exemples des réponses des élèves, qui montrent qu'il y a une référence d'une part au changement de la matière et d'autre part à la réversibilité (ou à l'irréversibilité) du changement des substances impliquées. Généralement, ce critère était appliqué par les élèves d'une manière logique. Les processus réversibles étaient identifiés comme étant des processus spontanés et qui sont par conséquent physiques. En revanche les processus qui ne sont pas spontanés étaient vus comme étant irréversibles et par conséquent chimiques.

Certains élèves construisent ces catégories en se basant sur des critères tels que la combustion, la dilution, l'oxydation et la fusion. Les auteurs font la remarque que ces critères conduisent à des groupes cohérents et font l'hypothèse qu'ils proviennent probablement d'un enseignement qui ne les a pas permis d'identifier et de classer des phénomènes variés.

A propos de la réversibilité du changement, les auteurs constatent que les élèves considèrent que si le changement est radical, alors il est chimique. Par conséquent les changements chimiques ne sont pas réversibles. Un changement réversible de la matière est conçu comme non-radical et donc physique.

En conclusion les auteurs trouvent que le concept de phénomène chimique (changement chimique) apparaît aux niveaux des élèves interrogés, selon les critères évoqués, sous deux formes différentes :

- Phénomène chimique = changement irréversible de la matière, en contraste avec le phénomène physique (= changement de la matière réversible).
- Phénomène chimique = une substance et une autre substance donnent un nouveau produit (réaction chimique).

VI.1.2. Travaux de Van Driel et al. (1998)

Les travaux de Van Driel et al. (1998) explorent aussi les conceptions des élèves à propos des transformations des substances en de nouvelles substances. Selon ces auteurs, pour les étudiants, les substances sont soit déplacées soit modifiées en retenant leur identité individuelle. Dans plusieurs cas les étudiants expliquent les phénomènes chimiques en termes de changements physiques, plus fréquemment de l'état ou de la forme. Dans les leçons introductives de la chimie, les réactions chimiques sont toujours associées à des phénomènes observables (changement de couleur, précipitation d'un solide) et sont présentées comme étant totales et se passant dans un seul sens. D'après Van Driel et al. (1998), l'introduction ultérieure de l'équilibre chimique démontre la réversibilité des réactions chimiques et la possibilité que ces réactions ne soient pas totales. De plus, la nature de l'équilibre chimique requiert que les étudiants assument que deux réactions chimiques opposées se passent, bien que les observations ne peuvent pas rendre compte de ce fait.

En leur introduisant le concept d'équilibre chimique et à partir des réponses et des discussions entre les étudiants, les auteurs ont identifié des types de raisonnement et des conceptions à propos de la réversibilité des réactions chimiques :

La plupart des étudiants considèrent que les substances initiales sont épuisées suite à une réaction chimique. 1.

Les étudiants distinguent souvent les phénomènes physiques et chimiques en indiquant que les premiers sont réversibles alors que les seconds ne le sont pas. 2.

Dans la plus part des cas, l'idée des élèves est que toutes les conditions sont satisfaites pour que la réaction se déroule. Une réponse écrite typique est la suivante : « Oui, quand toutes les substances sont présentes ensemble, elles réagissent toujours » (Van Driel et al., 1998).

Les étudiants ne sont pas surpris par la réversibilité résultant d'une variation de la température. Les changements observés sont interprétés par les élèves en termes de changement physiques. Ainsi les étudiants fuient la discordance entre les observations et leurs conceptions sur les réactions chimiques, préservant la conception que les changements chimiques sont irréversibles.

Cette conception sur l'irréversibilité des réactions chimiques sera retrouvée dans les réponses des étudiants dans les situations expérimentales que nous avons construites. Ces réponses montrent un consensus sur l'irréversibilité de la réaction chimique. Face à une réaction chimique qui s'inverse, les interventions des étudiants se présentent comme suit :

C 54 (A1): *mais est-ce qu'elle est possible cette réaction (?) je me demande si*

en vertu de la loi du droit d'auteur.

elle est possible(?)

Y 39 (A1): *si on fait l'inverse qu'est ce qu'on va obtenir (?)*

Y 43 (A1): *normalement y a pas de réaction*

F 23 (A1): *normalement je pense qu' il n' y a aucun de réaction rien ne se passerait*

VI.2.Difficultés et conceptions des apprenants à propos de l'usage des potentiels de référence pour la prédiction de l'évolution d'un système oxydoréducteur

Garnett et Treagust (1992) se sont penchés sur l'identification des difficultés conceptuelles dans la compréhension des aspects de l'électrochimie, reliés aux cellules électrochimiques et électrolytiques, et aussi à l'oxydation et à la réduction.

Leur recherche investit les phénomènes de l'électrochimie enseignés aux étudiants (Grade 12) et fournit une riche description de la compréhension conceptuelle et des explications des étudiants.

Parmi les difficultés sur lesquelles focalise cette étude

- identification de l'anode et de la cathode d'une cellule électrochimique,
- identification de l'anode et de la cathode dans les cellules électrolytiques,
- prédiction des produit d'électrolyse et de la magnitude de la force électromotrice (f.e.m) appliquée.

Garnett et Treagust ont noté un usage erroné des potentiels de référence (difficulté (a), (b) et (c)) ; les potentiels de référence sont automatiquement utilisés sans avoir une réelle représentation de la situation, ce qui conduit à des difficultés d'interprétation des phénomènes électrochimiques et électrolytiques.

A propos de l'identification de l'anode et de la cathode d'une cellule électrochimique, Garnett et Treagust (1992) ont noté que certains étudiants choisissent, d'une manière erronée, l'anode et la cathode directement à partir des tables des potentiels de référence en impliquant des espèces non existantes dans la cellule. Ces étudiants pensent qu'ils ont appliqué ce qu'ils ont appris par cœur : il s'agit de la conception que l'espèce ayant le plus grand potentiel de référence E° est l'anode.

A propos de la prédiction des produits d'électrolyse et de la magnitude de la force électromotrice (f.e.m) appliquée, Garnett et Treagust (1992) ont constaté que quand les étudiants prédisent les réactions relatives à une cellule électrolytique, les demi-réactions d'oxydation et de réduction sont combinées de manière à avoir E° positif. Il s'agit de la conception que la f.e.m. prédite pour une cellule électrolytique doit être positive. Les étudiant ne conçoivent pas aussi la relation entre la f.e.m. calculée d'une cellule électrolytique et la magnitude du voltage appliqué.

Ceci montre que l'usage des potentiels de référence est un automatisme auquel font recours les apprenants sans donner un sens à son application.

A propos de la détermination de l'anode et de la cathode pour les cellules

galvaniques, Runo et Peters (1993) notent que les étudiants présentent des incertitudes sur la détermination de la cathode et de l'anode. D'après ces chercheurs, les étudiants se demandent comment des changements de concentration ou de la pression de l'un des composants ou dans les deux demi-piles, pourraient affecter le « voltage » ou le potentiel de cette pile. Les étudiants ont alors des difficultés à analyser les différents facteurs qui influencent le potentiel d'une cellule.

Les chercheurs d'Arizona state university (2001), donnent une liste de conceptions en chimie et indiquent que pour les cellules galvaniques, certains étudiants pensent que les potentiels des demi-piles sont absolus dans la nature et peuvent être utilisés pour prédire la spontanéité des réactions relatives aux demi-piles.

Dans l'analyse des transcriptions des étudiants relatives aux situations expérimentales, nous avons constaté qu'ils identifient fréquemment les potentiels des couples à leurs potentiels de référence. Les interventions suivantes illustrent cette conception :

J&C 61-62 (B) :

« - pour la deuxième question on nous demande que de / que peut-on dire des potentiels des couples mis en jeu lors de cette expérience on justifiera la réponse en utilisant les observations expérimentales donc on a Fe^{3+} c'est l'oxydant du premier couple – ... E° de Fe^{3+}/Fe^{2+} est plus grand que E° de I_2 est supérieur au E° de I_2/I^- »

VI.3.conceptions à propos de la prévision de l'évolution d'un système quand l'équilibre est perturbé : application de la loi de Le Chatelier

Le travail de Stavridou et Solomonidou (2000) traite les difficultés d'apprentissage et les conceptions des élèves grecs (17-18 ans) à propos du concept d'équilibre chimique. Parmi les principales difficultés repérées : les difficultés de concevoir l'évolution dans le temps des substances initiales jusqu'à l'état d'équilibre, ainsi que le déplacement de l'équilibre quand un système est perturbé.

Selon Stavridou et Solomonidou, en Grèce l'enseignement de la chimie maintient son caractère traditionnel, c'est-à-dire qu'il est en grande partie basé sur la représentation du savoir par l'enseignant, sur des activités de résolution de problèmes suivant des stratégies algorithmiques. L'enseignement de la chimie est alors caractérisé par un aspect quantitatif des concepts plutôt que sur le développement du raisonnement qualitatif des élèves.

Les auteurs font l'hypothèse que, étant donné qu'en Grèce les élèves travaillent surtout au niveau symbolique et apprennent à appliquer la loi de Le Chatelier à des systèmes qui se trouvent en état d'équilibre chimique, les élèves éprouvent des difficultés à se représenter l'état initial d'un système de substances gazeuses en équilibre chimiques, ainsi que l'évolution de ce système vers un nouvel état d'équilibre chimique.

Bien que le déplacement d'équilibre puisse être décrit par la loi d'action de masse, certains élèves, pour faire les prévisions concernant le déplacement de l'équilibre, utilisent plutôt la loi de Le Chatelier. Suivant le principe de Le Chatelier Van't Hoff, le système sera déplacé dans le sens qui tend à annuler le changement effectué.

Stavridou et Solomonidou se sont penchés sur l'étude de la manière avec laquelle les élèves utilisent la loi d'action de masse et la loi de Le Chatelier dans des situations de prévisions différentes.

Les auteurs ont constaté qu'afin de se représenter un phénomène chimique au niveau empirique et au niveau moléculaire, les élèves s'appuient sur la symbolisation d'un phénomène chimique par l'équation chimique avec laquelle ils sont familiarisés. Ils confondent alors la proportion stœchiométrique avec la proportion d'équilibre, ce qui constitue une indication sur leur manque de représentations appropriées des systèmes en équilibres chimiques.

Quand à l'application de la loi de Le Chatelier pour prévoir l'évolution d'un système lorsque l'équilibre est perturbé, la majorité des élèves ont les conceptions suivantes :

- il y a des réactions en dépit du manque de réactants nécessaires,
- il n'y aura pas de réaction si toutes les substances ne se trouvent pas à l'état initial,
- application de la loi de Le Chatelier à l'état initial du système, avant l'établissement de l'équilibre,
- quand il y a des concentrations égales des deux cotés de l'équation chimique, le système a déjà atteint l'équilibre,
- confusion des proportions des concentrations à l'équilibre avec les proportions stœchiométriques de l'équation chimique donnée,
- quand il y a des concentrations plus importantes d'un coté de l'équation, la réaction sera déplacée vers le coté opposé pour « égaliser la différence de concentrations » et il ne tiennent pas compte de la constante d'équilibre K de la réaction.

Tenant compte de ces conceptions, nous pouvons conclure que pour la prévision de l'évolution d'un système chimique dans le temps, un nombre important d'élèves traite un système de substances initiales comme si celles-ci étaient déjà en équilibre chimique, et il appliquent la loi de Le Chatelier. Même en l'absence des constituants nécessaires, certains élèves envisagent la possibilité de réactions

D'après Stavridou, les élèves dans leur grande majorité, n'ont pas saisi le sens et le rôle de la constante K et par conséquent ils ne l'utilisent pas dans leur raisonnement. L'application de la loi de Le Chatelier dans des situations de résolution de problème, semble poser des problèmes. Appliquée à des situations simples, cette loi semble bien acquise par les élèves.

VI.4. Conceptions à propos de la notion de couple

Schmidt (1995) a mené une étude dans l'objectif d'identifier les conceptions qu'ont les élèves allemands à propos de la théorie acide-base de Bronsted et particulièrement à propos de la notion de couple acide-base conjugués.

A partir des tests et des interviews administrés à des élèves, l'auteur montre qu'il y a deux types de conceptions à propos des couples acide-base conjugués :

Premièrement ils font la confusion entre couple conjugué et couple non conjugué

d'acide-base. La seule explication possible de ce fait est que la distinction entre deux associations est rarement mentionnée dans les manuels allemands de la chimie.

Deuxièmement les apprenants conçoivent que les paires d'ions positifs et négatifs sont des couples d'acide-base conjugués et que l'ion positif neutralise l'ion négatif.

A partir de l'équation :



Quatre paires d'acide-base peuvent être formées. L'acide HA et la base A^- aussi bien que l'acide HB et la base B^- sont des paires d'acide-base conjugués. Si l'acide est donné, sa base conjuguée peut être directement déterminée et vice versa. La paire HA et B^- et la paire HB et A^- , ne sont pas conjuguées, parce qu'il n'y a pas de lien entre ces deux entités. Si l'acide est donné, on ne peut pas déterminer la base et vice versa.

D'après Schmidt (1995), une investigation a été initiée par le comité d'examen de la société chimique américaine. On a présenté aux élèves les équations suivantes :



A l'aide d'un questionnaire à choix multiples, les élèves sont appelés à identifier les couples conjugués d'acide-base relatifs à ces équations. Les réponses ont été fausses dans la plupart des temps. Les réponses les plus fréquentes étaient :



Les autres couples non conjugués $\text{H}_2\text{O}/\text{NH}_3$, $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{H}_2\text{O}$ et $\text{HCO}_3^-/\text{NH}_3$ étaient les moins mobilisés. Cependant la réponse la plus fréquente est le couple acide-base $\text{NH}_4^+/\text{HCO}_3^-$.

Nous pouvons alors constater que les élèves ne confondent pas le terme de conjugué et non conjugué. Ils essaient de trouver une paire d'ions, l'un avec une seule charge positive, l'autre avec une seule charge négative.

En conclusion la majorité des réponses incorrectes fournies par les étudiants confirme la conception que les couples acide-base conjugués sont des couples d'ions de charges opposées.

Dans le cas de l'oxydoréduction, la notion de couple oxydoréducteur peut être abordée d'une manière analogue à celle décrite par Schmidt. Nous avons remarqué que les apprenants font souvent des associations d'ions de charges de signes contraires soit pour désigner un couple soit pour prévoir la formation d'un précipité.

J 17 (A1, expérience 1) : « ...le dépôt est constitué de des ions Cu^{2+} et des ions $(\text{NO}_3)_2^-$ »

L'association des ions Cu^{2+} et des ions « inventés » NO_3^{2-} montre que la conception de couple de charge est aussi présente en oxydoréduction.

VI.5. Les conceptions des étudiants sur les piles

Nous nous sommes basés sur l'analyse des travaux sur les conceptions des apprenants publiés par Ogude & Bradley (1994) en Afrique du Sud, Garnett & Treagust (1992) en Australie, Sanger & Greenbowe (1997) aux Etats-Unis, Boulabiar et al. (2004), Bouraoui (1998) et Bouraoui & Chastrette (1999) en France et en Tunisie, et Barral, Fernandez & Otero (1992) En Espagne.

Ces travaux, portant sur des systèmes éducatifs très variés, visent tous à comprendre le raisonnement des élèves et des étudiants sur les phénomènes ayant lieu à l'intérieur de la pile.

VI.5.1. Conceptions liées à la séparation des deux demi-piles :

D'après ces auteurs, la séparation des deux solutions électrolytiques dans les piles (piles Daniell) engendre une mauvaise interprétation de la distribution des charges et amène certains élèves à placer les charges positives dans une demi-pile et les charges négatives dans l'autre demi-pile (Boulabiar, 2004). Ainsi cette séparation pourra constituer un obstacle pour la construction du concept de neutralité électrique de la pile. Ogude et Bradley (1994) constatent que les étudiants et les élèves ne conçoivent pas une solution électriquement neutre et expliquent ceci par le fait que le curriculum scolaire insiste sur l'équilibre des réactions redox et néglige les phénomènes microscopiques.

VI.5.2. Conceptions liées au pont salin :

Le pont salin accentue les problèmes de compréhension des phénomènes de conduction et de la nature des porteurs de charges. L'expression "*the salt bridge completes the circuit*" (Ogude & Bradley, 1994), trouvées dans les manuels, fait que les apprenants conçoivent le pont comme une voie de passage d'électrons dans l'électrolyte (Garnett & Treagust, 1992). De plus l'analogie entre le pont salin et le fil électrique (complément de circuit, conducteur d'électrons avec ou sans ions) ou entre le pont salin et le pont au sens habituel (passage obligé ...) renforce l'idée que les électrons " flottent " dans les électrolytes.

D'après Garnett & Treagust (1992), le courant électrique est considéré par les élèves comme constitué seulement d'électrons en mouvement, l'anode et la cathode étant vues comme des électrodes chargées (dans le sens de collecteurs de charges). Ogude & Bradley (1994) affirment que certains apprenants appliquent le principe de continuité du courant dans toutes les portions du circuit, y compris à l'intérieur de la pile. Alors, l'élève ou l'étudiant éprouve des difficultés à distinguer la nature des porteurs de charge, bien qu'ils reconnaissent le courant comme un flux de charges.

D'après Sanger & Greenbowe (1997), certains étudiants pensent que "*les électrons entrent dans la solution par la cathode, traversent le pont salin et émergent à l'anode pour compléter le circuit*". D'autres étudiants pensent que les anions participent au transfert

d'électrons dans l'électrolyte et dans le pont salin ou que les cations transfèrent les électrons à travers le pont salin.

D'après Bouraoui (1998) et Bouraoui & Chastrette (1999) la conception que le pont salin est un dispositif qui permet le passage des électrons d'un compartiment à un autre persiste même à l'université jusqu'à la maîtrise, en 4^{ème} année Sciences Physiques. Les étudiants justifient leur réponse par l'analogie du pont avec un fil électrique ou par le pouvoir du pont d'empêcher le mélange des solutions (il empêche le mélange des ions mais laisse passer des électrons).

VI.6. Apport de l'analyse bibliographique pour notre recherche

Si nous adoptons l'approche d'Astolfi et de Drouin (1992) des modèles, et qui les considère comme permettant aux apprenants non seulement de comprendre certains phénomènes mais aussi de prévoir le comportement des systèmes, nous pouvons déduire que certaines conceptions ont le statut de modèle. Ainsi, la conception à propos de la loi de Le Chatelier (Stavridou & Solomonidou, 2000), selon laquelle un système évolue suite à une perturbation dans le sens qui tend à annuler le changement effectué, possède les attributs d'un modèle. En effet cette conception permet de prévoir et de rendre compte d'un processus qui est l'évolution d'un système chimique. Dans notre analyse nous la désignerons par le modèle de Le Chatelier. D'une manière analogue la conception de couple de charges (Schmidt, 1995), selon laquelle deux ions de même charges et de signes contraires s'associent pour former un couple, sera considérée comme le modèle de couple de charges. Egalement la conception selon laquelle une réaction ne peut évoluer que dans le sens direct (Van Driel et al., 1998) et que par conséquent le raisonnement commence par l'écriture de l'équation dans le sens direct, sera désignée par le modèle de la réaction de base ou de la réaction directe.

VII. Notions fondatrices

L'étude des conceptions en chimie nous a montré que les élèves ne prennent pas en compte les principes explicatifs de base de la chimie, il traitent rarement des notions fondant l'explication des phénomènes ou des procédures même s'ils résolvent avec succès de nombreux problèmes ou réalisent des activités. De plus des travaux sur la résolution de problèmes en physique (par ex. Larkin, 1983), ont relevé d'importants écarts entre la nature des représentations du problème chez des apprenants et chez les experts. Les " experts " raisonnent à partir des entités conceptuelles qui fondent les procédures ou les formules utilisées, tandis que les élèves tentent souvent d'appliquer des formules utilisant les grandeurs intervenant dans la question.

En nous basant sur le rapport CNCRE-UMR-GRIC-COAST, CNRS & Université Lumière Lyon-2 (1999), nous appellerons *notions fondatrices* « ces notions d'ordre théorique qui constituent les éléments de base à partir desquels sont construites les explications des phénomènes ou les procédures de résolution de problèmes ». Ces notions peuvent être correctes ou incorrectes du point de vue du savoir savant. Elles peuvent être celles d'un élève quel que soit son âge, elles correspondent alors à des

conceptions, ou d'un expert d'une discipline. Ces notions fondatrices renvoient à la fois au savoir à enseigner d'une discipline et aux connaissances des apprenants. Une analyse du savoir à enseigner conduit à considérer que certains aspects de ce savoir constituent des *concepts fondamentaux* pour la compréhension de la discipline par l'apprenant c'est-à-dire pour que l'apprenant construise une compréhension d'un concept fondamental, il faut qu'il puisse s'appuyer sur des connaissances qu'il a déjà.

Les notions fondatrices ont alors un double rôle : elles peuvent aider à l'acquisition des concepts fondamentaux comme elles peuvent constituer un obstacle à l'acquisition de ces concepts. De ce fait la mise en relation des savoirs à enseigner et des connaissances des élèves pourrait aider à remplacer les notions fondatrices non appropriées par des concepts fondamentaux visés par l'enseignement.

« connaissances fondatrices » en atomistique

Nous avons vu, avec l'analyse des programmes scolaires français que l'enseignement de la chimie a toujours commencé en premier lieu par l'atomistique, c'est-à-dire ce qui concerne l'atome, en particulier ce qui est relatif aux électrons et à la liaison entre atomes (liaison chimique). Les concepts fondamentaux enseignés à cette occasion sont ainsi considérés, du point de vue de la chimie, comme indispensables à la construction des connaissances ultérieures, notamment pour l'enseignement de l'oxydoréduction.

En effet, l'introduction de l'oxydoréduction fait appel, du moins dans les livres de classe, à ces concepts fondamentaux de l'atomistique. En même temps, se met en place un symbolisme (dit des demi-équations chimiques) qui permet de résoudre de nombreux problèmes. Ce symbolisme figurant dans les livres pourrait permettre d'éviter l'utilisation des concepts fondamentaux de l'atomistique, ces derniers pouvant alors ne plus servir à fonder de nouvelles connaissances. Notre étude va essayer de répondre à cette question : les connaissances de l'atomistique sont-elles des notions fondatrices pour les élèves ?

VIII. Les facettes des connaissances des étudiants

La construction de notre grille d'analyse des connaissances des apprenants en atomistique va être réalisée en nous appuyant sur les facettes de Minstrell exposées ci-dessous

Selon Minstrell (1991) la connaissance de l'apprenant peut exister sous une forme stable dans sa tête comme elle peut être fluide et dépendre de la nature de la situation rencontrée. Aussi elle peut être une intégration de ces deux formes. Les étudiants peuvent construire des solutions face à un problème unique, mais ces constructions sont constituées à partir d'un contenu spécifique. Dans son étude Minstrell focalise sur une approche pratique pour aborder la connaissance des étudiants, la description de cette connaissance sera faite en identifiant et en cataloguant des éléments de la connaissance ou le raisonnement que les étudiants semblent appliquer dans des situations problèmes. Minstrell appelle ces éléments « facettes ». Une facette est une unité commode de réflexion, un élément de connaissance ou une stratégie apparemment utilisée par

l'étudiant pour aborder une situation particulière. Minstrell précise qu'il utilise le langage des étudiants quand ils justifient leurs réponses, leurs prédictions ou leurs explications. Il essaye de capter l'intention de chaque idée exprimée dans une phrase. Une facette peut généraliser plusieurs commentaires d'étudiants, c'est pour cette raison que Minstrell essaye de faire une description précise de ce que les étudiants disent ou font.

Tenant compte des caractéristiques des facettes nous pouvons alors les définir comme des expressions verbalisées des apprenants, traduisant des éléments de connaissance relative à un concept ou à une situation particulière.

Les facettes peuvent être reliées au contenu, elles peuvent être stratégiques, ou elles peuvent présenter un « bout » de raisonnement générique. Un exemple de facette d'un contenu spécifique à la chute libre et du mouvement d'un projectile est : « *le mouvement horizontal empêche les objet de tomber rapidement* ». Un autre exemple de facette stratégique de la cinématique est : « la moyenne de la vitesse peut être déterminée en sommant les vitesses initiale et finale et en les divisant par deux ».

Selon Minstrell, il y a plusieurs raisons pour le choix du terme de facette comme une unité de description et d'analyse. Premièrement et probablement la plus importante, est que beaucoup de connaissances des étudiants sont précieuses, car elles nécessitent quelques modifications, limitations ou élaboration, mais elles sont utilisables. Ceci fait la différence entre les facettes et les misconceptions, les conceptions alternatives, les théories naïves ou les croyances, etc. Plusieurs des misconceptions sont des idées respectant le contexte. Par exemple si nous considérons la facette « le plus lourd tombe le plus vite », la validité de cette idée dépend du contexte d'application.

Minstrell a essayé d'identifier les facettes qui peuvent être diagnostiquées en classes, ceci est dans l'objectif que les enseignants se rendent compte des facettes de leurs élèves, ce qui leur permettrait de prendre des décisions concernant l'enseignement des concepts abordés. Les facettes qui sont relatives à une situation particulière ou à une idée sont groupées dans des clusters. Dans un cluster les facettes représentent des idées problématiques spécifiques que les étudiants expriment ou appliquent. Dans chaque cluster, Minstrell définit la facette dominante et la plus générale qu'il nomme : facette du modèle mental. Chaque cluster inclus aussi des facettes « objectif » qui représentent une compréhension de la situation ou de l'idée qui est appropriée au niveau choisi.

L'exemple suivant de cluster « Forces impliquées dans les interactions » illustre les différents types de facettes :

Facette objectif (Goal facet) : toutes les interactions impliquent une intensité égale et des forces d'action et de réaction directement opposées qui agissent sur les corps séparés en interaction.

<p>Facette objectif (Cical facet) : toutes les interactions impliquent une intensité égale et des forces d'action et de réaction directement opposées qui agissent sur les corps séparés en interaction.</p> <p>Facettes</p> <ul style="list-style-type: none">- Les forces d'action et de réaction sont des forces égales et opposées s'exerçant sur le même objet L'objet le plus fort/ le plus ferme/ le plus dur va exercer la plus grande force.- L'objet le plus rapide en mouvement va exercer la plus grande force L'objet le plus actif/énergétique va exercer la plus grande force.- L'objet le plus grand et le plus lourd va exercer la plus grande force <p>Facette du modèle mental (Mental model facet) : dans une interaction entre les objets celui qui a le plus de caractéristiques perceptibles saillantes va exercer la plus grande force</p>
--

Figure 9 : cluster relatif aux forces impliquées dans les interactions (Minstrell, 1991)

La question qui se pose : est ce que les facettes des étudiants décrites ci-dessus sont erronées ? Minstrell (1991) ne prétend pas que ces idées sont correctes mais il mentionne qu'elles ont plusieurs aspects usuels. Les connaissances des étudiants ont les mêmes racines que les connaissances formelles, elle ont été développées à partir du même phénomène. Pendant que les apprenants utilisent et appliquent leurs facettes individuelles, leur connaissance totale manque de cohérence. En général, les étudiants ne différencient pas des idées d'autres idées. Ils n'arrivent pas à établir la relation entre des clusters variés et ne distinguent pas les contextes d'application de la connaissance.

En résumé nous pouvons dire que :

Les étudiants approchent des situations d'enseignement avec des éléments de connaissance existantes, que Minstrell appelle facettes. Ces facettes peuvent être spécifiques ou générales, elles peuvent être reliées au contenu, aux stratégies, ou au raisonnement.

Les facettes appliquées dépendent des facettes que possède l'étudiant, des caractéristiques du problème ou de la situation et de la perception de l'étudiant ou l'association entre les caractéristiques et des facettes.

Le nombre de facettes évoquées par l'étudiant est le minimum nécessaire pour répondre à la question ou pour satisfaire sa curiosité.

L'ordre d'application des facettes est du spécifique au générique. Si l'étudiant possède la connaissance spécifique à propos de la situation problématique alors les facettes spécifiques vont être appliquées. Si les facettes spécifiques ne fournissent pas la solution au problème, alors des facettes plus génériques vont être utilisées.

Pour fournir des explications plus consistantes et pour réconcilier entre les observations et les prédictions, les étudiants peuvent modifier leurs facettes pour élargir ou limiter le contexte d'application et pour élaborer des relations entre ces facettes. Les étudiants peuvent même ajouter de nouvelles facettes pour s'adapter aux nouvelles situations.

IX. Articulations des différents concepts du cadre théorique

Les différents concepts analysés dans le cadre théorique seront utilisés et articulés pour construire nos situations et pour analyser l'activité cognitive de l'apprenant.

Pour mieux comprendre les difficultés et les conceptions des apprenants à propos de la prédiction de l'évolution d'un système oxydoréducteur et pour avoir une vue critique concernant le savoir à enseigner il est important d'avoir une référence et par conséquent de comprendre le savoir scientifique relatif aux différents concepts d'oxydoréduction et de quelques concepts d'atomistique. En plus l'analyse des conceptions dans la littérature pourra nous aider à en tenir compte dans la construction de nos situations expérimentales. Cette prise en compte des difficultés des apprenants sera faite en nous basant sur des situations expérimentales adidactiques qui pourraient influencer l'activité et les processus cognitifs de l'apprenant.

La modélisation sera notre outil d'analyse de l'activité cognitive de l'apprenant. Elle nous donnera un éclairage sur la manière avec laquelle se fait l'appropriation du savoir chimique par l'apprenant et sur l'importance des modèles pour l'appropriation de ce savoir. Les registres sémiotiques feront partie intégrante des niveaux de modélisation auxquels nous aurons recours (modèle des deux mondes). La construction de notre grille d'analyse sera basée sur les notions fondatrices à partir desquelles les apprenants construisent leurs savoirs et aussi sur les facettes des élèves.

X. Questions et hypothèses de recherche

X.1. Questions de recherche

A partir de l'analyse du savoir savant, du savoir à enseigner ainsi que des concepts didactiques (modèle, modélisation, représentations, situation adidactique, notions fondatrices...) et en s'appuyant sur le modèle des deux mondes, nos questions de recherches se présentent comme suit :

Lors de la mobilisation des concepts et des modèles fondamentaux d'atomistique et d'oxydoréduction par les apprenants, de première de seconde et de mathématique supérieure, quels sont les niveaux de modélisation mis en jeu par ces apprenants et quelles sont les relations établies entre ces différents niveaux ?

Quelle sont les notions fondatrices des apprenants lorsqu'ils résolvent une tâche impliquant le transfert d'électrons ?

Quels sont les modèles utilisés par les apprenants face à des situations qui mettent en jeu la prédiction de l'évolution d'un système oxydoréducteur ?

Lors de la prédiction de l'évolution d'un système oxydoréducteur, quels sont les éléments de la situation qui vont inciter l'étudiant à choisir un modèle plutôt qu'un autre ? et comment inciter l'étudiant à mettre en place des relations spécifiques à l'usage du modèle

qui permet de faire la bonne prédiction ?

X.2.Hypothèses de recherche

Dans le but de répondre à ces questions de recherche et en faisant référence au cadre théorique présenté, nous faisons les hypothèses suivantes :

- Hypothèse d'étude

Cette première hypothèse permet l'étude du fonctionnement cognitif de l'apprenant :

Nous considérons que l'apprenant possède des théories spécifiques et des structures organisées qui lui permettent de réaliser une tâche de façon cohérente si nous nous plaçons de son point de vue.

- Hypothèses de modélisation

Il s'agit d'hypothèses sur le savoir en accord avec le cadre théorique permettant de catégoriser les savoirs mis en jeu et les connaissances. Nous nous appuyons sur trois hypothèses de modélisation :

Pour l'apprentissage de la chimie, la construction du sens d'un concept pourrait se faire à travers la mise en œuvre des différents niveaux de modélisation et de leurs relations. Dans notre cas, il s'agit des concepts d'atomistique et d'oxydoréduction. 1.

Un concept est d'autant plus opérationnel qu'il est mis en jeu, par un apprenant, dans une large variété de niveaux de connaissances. 2.

C'est avec les notions et les modèles utilisés par les apprenants que ces derniers vont pouvoir construire de nouvelles connaissances, c'est à dire que seules les notions et les modèles utilisées peuvent être fondateurs. 3.

- Hypothèses de recherche

Nous allons considérer pour notre travail plusieurs hypothèses de recherche :

L'appropriation du concept de réaction chimique, par les apprenants de première, de seconde et de mathématique supérieure, serait liée à l'appropriation préalable des concepts fondamentaux de l'atomistique.

Pour inciter les apprenants à mettre en place des relations spécifiques à l'usage du modèle qui permet de prédire l'évolution d'un système oxydoréducteur, il est intéressant de construire des situations didactiques.

Partie B : Méthodologies de recueil, d'analyse des données et analyse a priori du questionnaire et des situations expérimentales

Introduction

Nous allons nous attacher, dans cette partie, à détailler la méthode de recueil de données concernant la réalisation d'expériences par des élèves et des étudiants en situation de classe ou en situation hors classe.

D'un point de vue méthodologique, et faisant recours à notre cadre théorique, notre problème consiste à analyser l'approche et la manière avec lesquelles les élèves et les étudiants appréhendent généralement les concepts d'oxydoréduction et particulièrement les modèles de prévision de l'évolution d'un système oxydoréducteur.

La méthodologie adoptée présente deux types de situations :

- situations décrites, constituées d'un test suivi d'un entretien et d'un questionnaire,

en vertu de la loi du droit d'auteur.

tous en situation de classe. Dans ces situations les élèves n'expérimentent pas, les expérimentations sont décrites dans les énoncés

- situations réelles, composées de trois situations expérimentales A1, A2 et B en situation hors classe

Concernant le test, faisant partie des situations décrites, il s'agit de deux questions, l'une traite seulement les représentations des atomes et des molécules, celle-ci ne fera pas l'objet de ce travail et l'autre traite la formation de liaison chimique lors d'un transfert d'électrons. Cette deuxième question fera l'objet de cette étude.

A travers ce test, nous nous intéressons aux problèmes et aux difficultés que posent les notions fondamentales de la chimie (atomes, ions, molécules, liaisons chimiques, réactions chimiques). Ces concepts d'atomistique sont indispensables à l'appropriation du sens des demi-équations en oxydoréduction. A travers ce test et à l'aide de notre cadre théorique, nous nous proposons de voir à quels niveaux de modélisation l'apprenant fait recours et quels liens fait-il entre ces niveaux lorsqu'il s'agit d'appréhender les concepts fondamentaux d'atomistique ?

L'idée principale de cette expérimentation était d'avoir des informations sur la démarche de l'élève en situation de test. Tenant compte du fait que l'étude des copies ne nous permettait pas toujours de répondre aux questions que nous nous posions sur la démarche de l'élève, nous avons donc décidé d'avoir un entretien avec quelques élèves, qui présentaient un type de réponses prépondérantes, pour recueillir d'autres renseignements qui nous éclaireraient encore plus sur leur démarche.

Concernant les situations expérimentales et dans le cadre de la prévision de l'évolution d'un système oxydoréducteur, elles sont différentes parce que chaque situation met en jeu différentes connaissances et différents modèles ; par conséquent, pour répondre aux différentes questions posées, différents niveaux de modélisation et différents liens doivent être mis en jeu.

L'objectif commun de ces trois situations est de confronter une prédiction concernant l'évolution d'un système oxydoréducteur à une observation.

Le questionnaire a été construit d'une manière analogue aux situations expérimentales, dans l'objectif de chercher les modèles mobilisés par les apprenants lorsqu'il s'agit de prévoir l'évolution d'un système chimique. Il a été construit dans l'objectif de retrouver des traces de l'enseignement du modèle de Nernst et aussi d'avoir une idée sur les différents autres modèles que peuvent mobiliser les apprenants quand il s'agit de prévoir l'évolution d'un système chimique.

Chapitre B1 : Usage des concepts d'atomistique autour du transfert d'électrons

Dans la première partie de la thèse et concernant l'usage des concepts d'atomistique, tels

que la structure électronique et le transfert d'électrons, indispensables à l'interprétation d'une réaction chimique d'oxydoréduction, nous nous proposons de voir :

1. Lors de la mobilisation des concepts et des modèles fondamentaux d'atomistique pour la résolution d'une tâche relevant de l'oxydoréduction, quels sont les niveaux de modélisation mis en jeu par les apprenants, de première, de seconde et de mathématique supérieure, et quelles sont les relations établies entre ces différents niveaux ?
2. Comment les connaissances des élèves, des classes de seconde, de première scientifique et de mathématique supérieure relatives aux concepts de réaction chimique sont liées à l'appropriation préalable des concepts fondamentaux d'atomistique et particulièrement au concept de transfert d'électrons.
3. Quelles sont les notions fondatrices pour les apprenants lorsqu'ils résolvent une tâche impliquant le transfert d'électrons.

D'après l'analyse des conceptions des élèves à propos de la liaison chimique, nous faisons l'hypothèse que les notions fondatrices sur lesquelles les élèves se basent pour construire leurs réponses seraient différentes des concepts fondamentaux nécessaires pour fournir une réponse acceptable.

Dans la pratique, et pour répondre à nos questions de recherche nous avons construit un test qui met en jeu à la fois des concepts d'atomistique et des concepts d'oxydoréduction.

Nous nous proposons dans cette partie de détailler la méthode de recueil des données concernant la réponse au test par des apprenants en classe. Nous présentons la méthode d'analyse des données recueillies.

L'idée principale de notre expérimentation est d'avoir des informations sur les connaissances mises en jeu par les élèves pendant qu'ils répondaient le test.

Nous nous sommes aperçus que les copies des élèves ne nous permettaient pas toujours de répondre à certaines questions que nous nous posions sur leur démarche. Nous avons donc organisé des entretiens avec quatre élèves qui présentaient des réponses typiques d'un écart fréquemment rencontré avec ce qui était attendu. Ceci devait permettre de vérifier certaines hypothèses sur l'origine de ces écarts pour recueillir des renseignements complémentaires.

I.Choix des niveaux scolaires

L'expérimentation est réalisée au niveau de la seconde (N=128 élèves) et de la première scientifique (N=106 élèves) en France et des mathématiques supérieures en Tunisie (N=40 étudiants). Les élèves français comme les étudiants tunisiens avaient abordé dans leur cursus scolaire les concepts d'atomistiques, indispensables pour répondre au test.

En seconde, les élèves viennent d'aborder pour la première fois les concepts de base d'atomistique, ce qui leur permet déjà de répondre à une question impliquant un transfert d'électrons. En revanche ils n'ont pas abordé l'utilisation de ces concepts au domaine

spécifique de l'oxydoréduction.

En première, l'oxydoréduction a été abordée pour la première fois.

En mathématique supérieure, les étudiants abordent un niveau de description de l'oxydoréduction (modèle de Nernst) qui laisse penser qu'un regard nouveau est porté sur les concepts de base.

Le choix des élèves français du secondaire et des étudiants tunisiens du supérieur (mathématique supérieure) est basé, d'une part, sur le fait que ces étudiants (tunisiens) suivent le programme français. D'autre part, nous ne pouvions pas choisir des élèves tunisiens (du secondaire) car nous avons prévu de faire des entretiens et que ces élèves ne maîtrisent pas parfaitement la langue française et s'expriment avec du code switching (Agrebi & Le Maréchal, 2003) et par conséquent ne peuvent pas nous fournir des explications sur leurs démarches.

II. Tâche papier-crayon

L'expérimentation était basée sur une tâche papier-crayon réalisée dans les différentes classes avec la seule présence du professeur. La tâche papier-crayon était composée de deux questions, une première qui imposait le cadre de l'atomistique et fournissait quelques rappels. Cette première question traite seulement des représentations des atomes et des molécules et ne fera pas l'objet de notre analyse. La seconde qui traite de la formation d'une liaison chimique et qui par conséquent traite d'un transfert d'électrons, fera l'objet de cette étude et était formulée ainsi :

La réaction chimique du lithium métallique avec les ions hydrogène est représentée par l'équation-bilan suivante : $2 \text{Li} + 2 \text{H}^+ \square 2 \text{Li}^+ + \text{H}_2$. Au cours de cette réaction chimique, comment se constitue la liaison covalente de la molécule H_2 ? Justifier ou commenter votre réponse.

Nous attendons par exemple que les élèves expliquent que l'électron perdu par l'atome de lithium Li en devenant l'ion Li^+ soit utilisé pour constituer la liaison entre les deux atomes d'hydrogène. Dès la classe de seconde, les élèves savent la différence entre un atome et un ion, et qu'une liaison chimique était constituée d'électrons. Ces notions étaient présentes dans la première question.

III. Spécificité et objectifs de la tâche papier-crayon

Cette deuxième question est inédite car elle traite de la formation de la liaison chimique. La question est très ouverte comme le montre la variété de quelques réponses a priori possibles. Afin de déterminer les concepts fondamentaux qui doivent être présents pour qu'une telle réponse soit acceptable, nous avons prévu de demander à des experts (chimistes, enseignants et didacticiens) d'y répondre. De plus, nous avons prévu de leur soumettre quelques réponses d'élèves et de leur demander de les commenter. Les réponses des experts et des élèves seront analysées avec la même grille. Cette grille met en jeu les concepts et les notions qui peuvent être évoqués indépendamment du fait que la réponse soit correcte du point de vue du savoir savant. De plus, cette grille articule les

concepts et les notions avec les niveaux de modélisation qui pourraient être mobilisés.

Cette méthode de collecte de données doit ainsi permettre de déterminer ce que nous appellerons une réponse complète à cette question. Cette notion nous permettra de voir ce que les élèves qui n'ont pas répondu complètement utilisent comme notion. Nous verrons alors si ces notions peuvent être considérées comme des concepts fondamentaux.

En analysant les réponses des apprenants, nous nous proposons de voir si les concepts fondamentaux d'atomistique sont utilisés et s'ils constituent des concepts fondateurs. En revanche si ces concepts fondamentaux ne sont pas utilisés, nous pourrons alors voir quelles notions fondatrices utilise l'apprenant pour interpréter et résoudre la tâche papier-crayon.

IV. Grille d'analyse des activités de modélisation des élèves

Dans cette étude, le problème a été posé aux élèves dans le monde reconstruit comme le montre l'analyse suivante :

La réaction chimique (é) du lithium (o) métallique (p) avec les ions hydrogène (o) est représentée par l'équation bilan (é) suivante : $2 \text{Li} + 2 \text{H}^+ \rightarrow 2 \text{Li}^+ + \text{H}_2$ (é). Au cours de cette réaction chimique (é), comment se constitue la liaison covalente (é) de la molécule H_2 (o)? Justifier ou commenter votre réponse.

Afin de représenter ces objets et ces événements, différentes représentations sont possibles. Dans notre cas, ces représentations sont iconiques et symboliques.

Faisant recours à notre cadre théorique pour l'analyse des réponses des apprenants, nous nous proposons de voir les différents niveaux de connaissances qui vont être mobilisés.

Parmi les concepts fondamentaux qui peuvent être abordés, pour répondre à la question posée, nous citons : le transfert d'électrons et la mise en commun d'électrons

En fait, ces concepts fondamentaux s'articulent avec d'autres concepts de base, tels que le transfert d'électrons qui se passe entre les atomes, les ions et les molécules. Aussi, le transfert et la mise en commun d'électrons sont intimement liés aux couches électroniques des entités impliquées. De plus, la liaison chimique s'établit au cours d'une transformation chimique, donc le concept de transformation chimique est primordiale pour aborder la liaison chimique.

Tenant compte du fait que les recherches en didactique de la physique, menées dans le domaine des " conceptions " (Tiberghien, 1994 ; Nakhleh, 1992 ; Teichert & Stacy, 2002) montrent que les élèves ne prennent pas en compte les principes explicatifs et les concepts de base, mais ils traitent rarement des concepts fondant l'explication des phénomènes ou des procédures nous allons tenir compte des " notions fondatrices (Rapport CNCRE-UMR-GRIC-COAST, CNRS & Université Lumière Lyon-2). Ces notions sont d'ordre théorique et constituent les éléments de base à partir desquels sont construites les explications des phénomènes ou les procédures de résolution de problèmes. Elles peuvent être celles d'un expert d'une discipline, ou celles d'un élève et

correspondent alors à des conceptions qui ne sont pas correctes du point de vue de la discipline.

Pour rendre compte des notions fondatrices que peuvent avoir les apprenants, nous avons construit une grille des facettes des concepts susceptibles d'être exprimées par les élèves. Nous faisons l'hypothèse que seule l'analyse des réponses des experts et des élèves va nous permettre de connaître la totalité des facettes qu'on peut rencontrer.

D'après l'analyse à priori, nous avons estimé que pour la tâche demandée les trois sous-domaines des représentations symbolique et iconique, de l'évènement et des propriétés pourraient suffire pour nous éclairer sur l'activité cognitive des apprenants quand ils abordent les différents concepts évoqués dans la tâche.

La grille se présente alors comme suit :

Tableau 1 : Grille d'analyse des réponses à la question 2

	niveaux concepts Fondamentaux	représentation symbolique et iconique	évènement	propriété
objet	atome, ion, molécule	(ar)	(aé)	(ap)
évènement	transformation chimique	(tr)	(té)	(tp)
modèle du produit	liaison chimique	(lr)	(lé)	(lp)
modèle du réactif	couche électronique	(cr)	(cé)	(cp)

Nous noterons les différents concepts, niveaux et catégories comme suit :

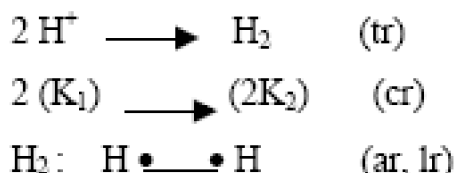
- pour les concepts fondamentaux
 - les concepts d'atome, d'ion et de molécule seront notés par (a)
 - la transformation chimique sera notée par (t)
 - la liaison chimique sera noté par (l)
 - la couche électronique par (c)
- pour les niveaux
 - le niveau des représentations symboliques et iconiques sera noté par (r)
 - le niveau des évènements sera noté par (é)
 - le niveau des propriétés sera noté par (p)
- pour les catégories qui sont une combinaison d'un concept fondamental et d'un niveau, elles seront représentées par la combinaison de type (cn), avec c le concepts

fondamental et n le niveau.

exp. : la catégorie événement au niveau de la transformation chimique sera représentée par (té).

L'analyse des réponses des élèves se présente comme suit :

Exemple 1 : seconde B copie 3 :



« il y a une liaison covalente qui se forme (lé) pour la molécule H₂ (ar), car elle a réagi avec le lithium (té) et aussi parce qu'il y avait deux atomes d'hydrogènes H dans les réactifs(ap). Les deux atomes se « sentent » mieux ensemble (ap), ils sont plus stables (ap) et vont alors former une molécule(aé) avec une liaison covalente (lp). Au départ, ils avaient des charges (p) et après ils s'équilibrent (aé). »

Exemple 2 : seconde copie 2 : « dans la réaction, dans les réactifs, on a 2 atomes de lithium et deux ions d'hydrogène, et dans les produits on a 2 ions de lithium et un atome de dihydrogène (tr). Donc dans la réaction, les ions hydrogène ont donné leur charge aux atomes de lithium (té)»

V.Méthode de collecte des données

Nous aurons à analyser des réponses à une question ouverte; pour ceci nous aurons une grille des niveaux du savoir. Nous aurons aussi les réponses des experts, à qui nous donnerons des réponses des élèves et nous demanderons ce qu'ils en pensent. A partir de leurs avis, nous dégagerons la notion de réponse complète et de réponse non complète. La notion de réponse complète correspond à une réponse correcte du point de vue du savoir savant. Cette notion de réponse complète va nous permettre de catégoriser les réponses des élèves en deux catégories : réponses complètes et réponses non complètes. Cette catégorisation pourra nous permettre de voir, du point de vu des connaissances et des niveaux de modélisation, ce qui est commun aux réponses complètes et ce qui est commun aux réponses non complètes. Ceci pourrait alors nous éclairer sur la démarche et les connaissances sur lesquelles s'appuie l'élève quand il construit sa réponse selon que la réponse soit complète ou non complète.

En appliquant la grille d'analyse et à travers la catégorisation de la réponse de chaque apprenant, nous allons procéder par trois niveaux d'analyses statistiques.

Le premier niveau d'analyse est global et permet de donner une idée sur la présence des différentes catégories selon les classes.

Afin d'effectuer une étude comparative entre les différentes classes, un second

niveau d'analyse fait apparaître précisément les fréquences de mobilisation des différentes catégories pour les différentes classes et ceci pour les réponses complètes d'une part et pour les réponses non complètes d'autre part. La représentation des fréquences de mobilisation des différentes catégories pour les différentes classes répond à un besoin de normaliser le traitement afin de pouvoir faire la comparaison entre ces différentes classes.

Le troisième niveau d'analyse est encore plus fin. Il va nous permettre à l'aide de l'analyse des corrélations entre les différentes catégories pour chaque classe, de voir si ces catégories sont dépendantes les unes des autres et de quelle manière peuvent-elles dépendre?

VI. Entretiens d'explicitation

Pour plus d'informations, des interviews ou des entretiens individuels peuvent venir compléter un test, une fois cernées les hypothèses susceptibles d'expliquer des invariants que nous pourrions repérer dans les réponses des apprenants au test.

On fait alors recours à des entretiens soigneusement planifiés pour affirmer ou infirmer ces hypothèses et pour recueillir des informations sur les démarches des apprenants et compléter nos données de recherche.

Pour réaliser des entretiens d'explicitation, le professeur informe les élèves qu'ils vont participer à une recherche sur la façon de résoudre les problèmes en chimie pendant un test. Après avoir passé le test, le professeur explique aux élèves qu'un membre d'équipe de recherche va s'entretenir avec certains d'entre eux sur ce qu'ils ont fait pendant le test. Le professeur précise aussi aux élèves qu'il ne participe pas à la recherche et qu'il ne verra pas les copies et qu'il ne sera pas présent dans les entretiens et dans les dialogues.

Pour la réalisation des entretiens nous nous sommes entraînés à la technique de l'entretien d'explicitation mise au point par P. Vermersch (1991) et appliquée par S. Coppée (1993). Deux notions sont essentielles pour la technique d'entretien d'explicitation : la référence à l'action et le récit que produit le sujet. Il s'agit alors pour nous de reconstituer la démarche de l'apprenant de façon à tenter de construire, si c'est possible, une théorisation des processus cognitifs.

Concernant la référence à l'action il s'agit d'avoir le récit de l'action qui s'est réellement déroulée et qui peut être située dans l'espace. Dans nos entretiens nous évoquons le test fait un jour précis et dans une salle précise. Pour ce fait, les premières questions que nous posons se présentent comme suit (I: interviewer ; E : élève) :

I : Tu te rappelles y a madame M. qui t'avait donné un test (?)

E: Oui

I : C'était où dans cette salle ou c'était où (?)

E : Non c'était (: :) dans une autre salle là bas à côté en face \

I : Une autre salle oui tu es sûre de la salle d'habitude toujours dans le même endroit (?)

E : Oui je suis toujours \

I : Tu es toujours où (?)

E : Sur le deuxième rang à gauche

I : Deuxième rang à gauche là c'est ta place et là tu te rappelles quel test c'était par ce qu'il y avait deux tests les A et les B tu te rappelles ce que c'était (?)

E : Je crois c'était le B

I : Tu crois c'était le B on va voir si tu te rappelles ça / gagné tu vois

E : Oui il me semblait que c'était le B

L'entretien d'explicitation sert aussi à aider l'apprenant à retrouver ce qu'il a réellement fait, et non ce qu'il dit avoir fait après reconstruction et rationalisation a posteriori. Il s'agit de réduire au maximum les interprétations que le sujet donne de son action dans son récit. Les questions que nous avons posées sont alors formulées de la manière suivante (I: interviewer ; E : élève):

I : Ouais c'était le B et alors il y a plusieurs choses qui m'intéressent dans ce que tu (: :) dans ce que tu as fait et je vais te poser des questions pour essayer de comprendre un petit peu tout ça mais (: :) donc tu te rappelles on te demandait de dessiner une représentation de l'atome de lithium (?)

E : Oui

I : Et t'as trouvé ça difficile (?)

E : Ben en fait je me suis demandé comment ce qu'ils voulaient la première chose qui me venait dans l'esprit c'est de représenter (: :) la représentation de Lewis et puis ensuite la prof nous a dit non non c'est dessiner lisez bien c'est dessiner donc j'ai laissé j'ai laissé dessus parce que j'ai pas effacé vraiment et je me suis ben représenté un atome nous nous avons j'ai toujours vu un atome rond on pensait que c'était rond donc voilà / j'ai dessiné ça comme ça et puis comme il y a 3 (: :) c'est 3 le chiffre atomique

VII.Principe du traitement des entretiens

Les entretiens ont été intégralement transcrits (Annexes B). A chaque tour de parole, nous avons associé un numéro qui correspond au numéro d'intervention. Dans ces transcriptions d'entretiens, le discours de l'intervieweur est intégré.

Pour l'analyse de ces entretiens, nous avons appliqué la même grille utilisée pour l'analyse des copies. L'objectif de cette analyse est de décrire le fonctionnement des élèves à partir de leur verbalisation en prenant en compte notre grille d'analyse ; nous codons selon les niveaux du savoir les connaissances verbalisées par les élèves.

L'hypothèse sous-jacente à ce processus de modélisation réside dans ce que les concepts de chimie prennent leur sens dans la mise en relation entre les différents niveaux de notre cadre théorique. Nous nous sommes alors intéressés aux liens qu'avaient fait les élèves entre les différents niveaux de notre cadre théorique.

Le tableau suivant présente des exemples de codage des verbalisations des élèves

selon les niveaux de savoir :

Tableau 2 : Analyse selon les catégories de la grille des verbalisations de C lors de la réponse à la question 2

N° d'interventions	Intervention	Catégories et Liens entre les sous-domaines	Raisons du choix
--------------------	--------------	---	------------------

Discussion de la deuxième question

108.	C	Si je devais me représenter ça \		
109.	I	Oui c'est l'équation qui te fait penser ça (?)		
110.	C	Ben <u>en fait on regarde au départ on a 2 Li plus 2 H₂⁺ et à la fin c'est le contraire c'est les 2 Li⁺ et H₂ donc on se dit qu'ils ont échangé quelques choses puisqu'au départ c'était H qui était + et à la fin c'est Li qui est+</u>	(tr) (aé) (tr) □ L'élève fait le lien entre les sous-domaines des représentation et des événement	L'élève essaye d'expliquer le transfert de charge et la formation des liaisons en se référant à l'équation de la réaction et en raisonnant à partir des symboles
111.	I	Et alors donc ce quelques choses c'est quoi (?)		
112.	C	Et ben (: : :) j'n sais pas exactement et ben enfin <u>H₂⁺ a donné son + au Li donc une charge positive et après ils ont gardé le même nombre</u>	(tr)	L'élève utilise un jeu de symboles

Chapitre B2 : Situations et questionnaire portant sur l'usage des modèles de prédiction d'évolution d'un système oxydoréducteur

I. Idées Générales sur la stratégie adoptée pour la construction des situations

Dans une deuxième partie de notre travail, nous avons procédé à des expérimentations (un questionnaire et trois situations expérimentales) pour tenter d'identifier les modèles utilisés par les étudiants et recueillir des informations sur ce qui incite les apprenants à choisir entre un modèle et un autre quand il s'agit de prédire l'évolution d'un système

redox.

Nos questions de recherche se présentent alors comme suit :

Quels modèles les apprenants utilisent-ils face à des situations qui mettent en jeu la 1. prédiction de l'évolution d'un système oxydoréducteur ?

Lors de la prédiction de l'évolution d'un système oxydoréducteur, quels éléments de 2. la situation vont inciter l'étudiant à choisir un modèle plutôt qu'un autre ?

Le questionnaire vise à repérer des traces de l'enseignement du modèle de Nernst et aussi à avoir des informations sur les modèles que peuvent mobiliser les apprenants lorsqu'il s'agit de prévoir l'évolution d'un système oxydoréducteur.

Pour les deux premières situations expérimentales (A1 et A2), nous nous proposons d'amener l'étudiant à faire des prédictions concernant l'évolution d'un système oxydoréducteur.

L'étudiant aura à confronter ses prédictions aux observations expérimentales. Le milieu renvoie une rétroaction négative si les prévisions ne sont pas conformes aux observations. Dans ce cas, l'étudiant devra se rendre compte que c'est la réaction inverse qui s'est déroulée et que son modèle ne permet pas d'interpréter l'évolution du système chimique.

Pour la troisième situation expérimentale (B) nous nous proposons de voir quels sont les modèles mis en jeu par les apprenants pour expliquer l'évolution d'un système oxydoréducteur suite à une perturbation apportée à ce système.

Nous analyserons l'activité des étudiants à l'aide des deux mondes (perceptible et reconstruit) et nous nous intéresserons aux niveaux et aux types de relations que les apprenants vont mettre en jeu pour prédire et expliquer l'évolution des systèmes redox. Les niveaux mobilisés par les étudiants et les relations qu'ils établissent entre ces niveaux pourront nous éclairer alors sur l'activité cognitive de l'étudiant et éventuellement nous indiquer la raison qui fait qu'un étudiant choisi un modèle plutôt qu'un autre et de quelle manière les éléments de la situation peuvent-ils influencer son choix.

II. Questionnaire

II.1. Choix du niveau

Pour réaliser notre expérimentation et pour voir de quelle manière l'étudiant utilise le modèle des potentiels de référence E° et le modèle de Nernst, nous avons choisi le niveau de première année de mathématique supérieure (N= 29 étudiants, Institut Préparatoire aux études Scientifiques et Techniques de la Marsa). Les étudiants sont alors censés connaître les concepts de l'oxydoréduction et les modèles qu'ils auraient à utiliser dans les situations proposées. Nous signalons au passage, que le choix des étudiants de la Marsa est basé sur le fait qu'ils s'expriment en français alors que leurs collègues du même niveau, de l'université, s'expriment avec du code switching (Agrebi & Le Maréchal, 2003).

Le questionnaire est administré dans une salle de l'établissement d'origine avec la seule présence du professeur. Des instructions précises sont fournies aux étudiants sur la discrétion des réponses « ce questionnaire concerne votre manière de penser sur les systèmes redox et leurs évolutions donc toutes les réponses sont acceptables... ».

II.2.Méthode d'analyse des connaissances et des modèles mobilisés par les étudiants

Le questionnaire est administré à une classe de mathématiques supérieures afin de vérifier que les étudiants utilisent le modèle de Nernst pour traiter un déplacement d'équilibre et aussi afin de voir quels autres modèles peuvent mobiliser ces apprenants dans des situations pareilles. Nous nous proposons d'analyser les réponses des étudiants aux deux questions posées et de les comparer aux analyses a priori faites à partir du savoir savant et à partir de l'étude des conceptions.

III.Situations Expérimentales

Après avoir passé le questionnaire aux étudiants pour repérer des traces de l'enseignement du modèle de Nernst et voir sur quels autres modèles s'appuient les étudiants pour prévoir l'évolution d'un système chimique, nous nous proposons de voir à travers des situations expérimentales réelles, quels modèles mobilisent les apprenants quand il s'agit de prévoir l'évolution d'un système oxydoréducteur ?

Nous partons de l'hypothèse que l'apprentissage se fait en relation avec l'utilisation des modèles ; de ce fait nous avons construit trois situations expérimentales qui font fonctionner différentes connaissances et différents modèles.

D'après l'étude des conceptions nous faisons l'hypothèse que les étudiants pourront mobiliser cinq modèles :

- le modèle de Nernst,
- le modèle des potentiels de référence,
- le modèle de la réaction directe (Van Driel et al., 1998),
- le modèle des couples de charge (Schmidt, 1995),
- le modèle de Le Chatelier (Stavridou & Solomonidou, 2000).

Les trois situations sont du type adidactique car nous nous appuyons sur le rôle rétroactif du milieu qui va aider l'apprenant à changer de modèle prédictif quand l'observation ne confirme pas la prédiction. Par exemple si l'étudiant s'appuie sur le modèle des potentiels de référence et ne conçoit pas qu'une réaction chimique puisse s'inverser, alors l'observation de l'inversion de la réaction pourrait aider l'apprenant à remettre en question le modèle appliqué.

L'objectif principal de ces situations est une confrontation entre une prédiction à propos de l'évolution d'un système oxydoréducteur et une observation faite.

Se basant sur la confrontation prédiction-observation nous adoptons une

méthodologie comparable à celle de Baker (2000) qui se base sur l'étude des binômes en tâche collaborative. Les étudiants sont donc face à une activité de résolution coopérative de problème et leur discours constitue une fenêtre sur leurs démarches. En effet, à travers le dialogue, la tâche collaborative nous permet de prendre en compte un ensemble d'attitudes cognitives, telles que les stratégies adoptées, relatives à la situation problème.

Les dialogues produits dans des situations où des étudiants coopèrent dans la résolution des problèmes, constituent une donnée importante en raison de leur co-présence et de leur participation commune dans un milieu donné. La coopération des étudiants s'inscrit alors dans un cadre d'objectif commun de résolution de problème et de mise en accord sur la solution. Pour nos situations, nous adoptons le point de vue de Baker selon lequel la résolution coopérative de problèmes vise l'acceptation mutuelle des enjeux telle qu'une solution partielle au problème à résoudre. C'est à travers les interactions produites lors de la résolution coopérative de problème que divers aspects de la résolution tels que les stratégies, les solutions partielles de problème, les révisions d'attitudes, sont explicités.

Dans le cadre d'une approche cognitive, nous nous proposons de prendre en compte un ensemble d'attitudes cognitives variées relatives à des situations problèmes spécifiques, afin de rendre compte de la résolution coopérative de problèmes par la négociation. La négociation pourrait alors permettre la confrontation des conceptions et des systèmes explicatifs des étudiants, ce qui pourrait mieux expliciter leurs raisonnements et leurs modèles. Le travail collaboratif pourrait alors aider les étudiants à caractériser la différence entre la prédiction et l'observation et par conséquent à se rendre compte que le modèle prédictif appliqué n'est pas approprié à la situation. Nous estimons que le travail collaboratif pourrait aider les étudiants à dépasser certaines difficultés et aussi nous éclairer sur les connaissances et les modèles qu'ils mobilisent pour prédire l'évolution d'un système chimique.

Concernant les spécificités des différentes situations, elles présentent différentes articulations de niveaux de modélisation de notre cadre théorique. Chaque situation fait fonctionner des niveaux et des liens différents par rapport aux autres situations. La situation A1 par exemple met en jeu du nitrate d'argent qui nous permet de voir si les étudiants vont appliquer le modèle de couple de charges (Schmidt 1995). Pour chaque situation il y a plusieurs possibilités de modèles et pour ces différents modèles il y a des hypothèses que nous souhaitons vérifier.

III.1. Choix des binômes

L'expérimentation a été réalisée avec quatre binômes appartenant tous à l'Institut Préparatoire aux Etudes Scientifiques et Techniques en classe de PCSI.

Les étudiants sont censés connaître les concepts visés de l'oxydoréduction enseignés auparavant dans leurs cours de Sciences Physiques.

III.2. Présentation des situations expérimentales

Les situations expérimentales sont réalisées et filmées dans un studio d'enregistrement audio visuel à l'Institut Supérieur de l'Éducation et de la Formation Continue. Les dispositifs expérimentaux et les produits nécessaires aux différentes expérimentations sont préparés par le chercheur et disposés d'une manière analogue à celle utilisée dans un laboratoire de chimie.

Les situations expérimentales sont présentées à chaque binôme imprimées sur papier.

Les étudiants doivent prédire, observer et expliquer les expériences. Des informations supplémentaires leur sont données mais seulement à leur demande.

A propos de la construction des trois situations expérimentales (A1, A2, B), nous avons restructuré plusieurs questions figurant dans le questionnaire de telle manière que les questions posées, pour les situations, pourrions nous permettre de répondre à nos questions de recherche. L'objectif des situations est de voir chez l'étudiant le fonctionnement des connaissances en relation avec les modèles de prédiction de l'évolution d'un système oxydoréducteur.

III.3. Analyse des activités de modélisation des binômes

L'analyse des connaissances verbalisées par les étudiants a pour objectif de coder les différents niveaux de modélisation relatifs à notre cadre théorique. Ce codage selon les niveaux de savoir va nous éclairer sur les étapes de résolution des tâches proposées dans les différentes situations.

Notre méthodologie d'analyse s'organise en trois temps : une analyse à priori, une analyse de l'activité de l'étudiant et une étude comparative entre l'activité effective de l'étudiant et celle attendue.

L'analyse a priori des situations se fait selon le savoir savant, l'études des conceptions et les niveaux de modélisation de notre cadre théorique. L'activité attendue que ce soit selon le savoir savant ou selon l'étude des conceptions est décrite à partir des niveaux du savoir à utiliser et à mettre en relation.

L'analyse de l'activité de l'étudiant se fait selon des niveaux de modélisation, des stratégies et des connaissances mis en jeu dans les verbalisations des étudiants

Une étude comparative entre la réalisation de la tâche par les étudiants avec celle attendue.

Chapitre B3 : Analyse a priori du questionnaire et des situations expérimentales

Ce chapitre a pour objectif de décrire l'activité prévue des apprenants lors de la réalisation des différentes tâches relatives au questionnaire et aux trois situations expérimentales (A1, A2, B). L'analyse sera faite tout d'abord du point de vue du savoir savant mis en jeu

dans les différentes tâches, puis selon l'étude des conceptions. Pour chacune de ces deux analyses nous représentons les activités de modélisation des étudiants en nous appuyant sur notre cadre théorique.

I. analyse a priori du questionnaire

Le questionnaire comprend deux questions :

- la question 1 porte sur la prévision de la ddp d'une pile
- la question 2 porte sur un dosage d'oxydoréduction et sur l'évolution du potentiel pendant le dosage.

I.1. Analyse de la question 1 :

Dans la première question (Question 1), on donne un schéma d'une pile :

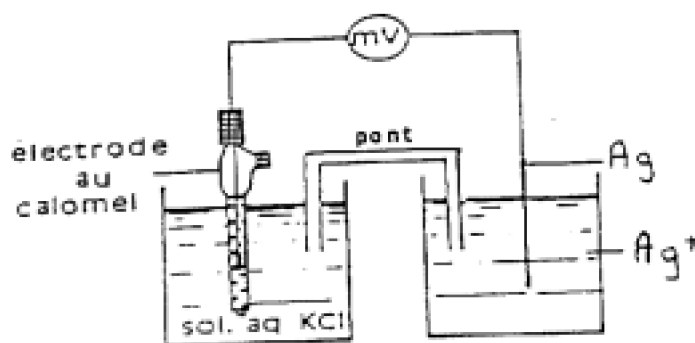


Figure 10 : Pile $Hg(l)/Hg_2Cl_2/Cl^- // Ag^+ / Ag$

Les questions posées sont les suivantes :

De quelles données faut-il disposer pour prévoir la valeur lue sur le millivoltmètre.

Justifier pourquoi il est important de connaître chacune de ces données.

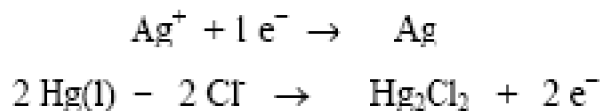
I.1.1. Réponse possible à partir du savoir savant

Pour fournir une réponse acceptable du point de vue du savoir savant, l'étudiant doit définir la valeur lue sur le voltmètre, identifier les couples, écrire l'équation d'oxydoréduction, se référer à l'équation de Nernst et par la suite donner tous les paramètres dont dépend l'équation de Nernst.

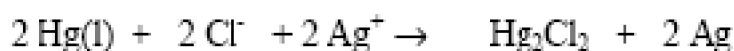
- Définition de la valeur lue sur le voltmètre : il faut que l'étudiant se rende compte et explicite dans sa réponse que la valeur lue sur le voltmètre est le potentiel du système chimique donné par l'équation de Nernst

- Identification des couples : $\text{Hg}_2\text{Cl}_2/\text{Hg(l)}$ et Ag^+/Ag
- Référence à l'équation de la réaction :

l'équation de la réaction doit être établie à partir des demi-équations relatives à chaque couple :



L'équation de la réaction résultant d'un transfert d'électrons est alors :



- Référence à l'équation de Nernst :

l'équation de Nernst correspondant à la réaction qui s'est déroulée est la suivante :

$$\Delta E = (E^\circ \text{Ag}^+/\text{Ag}) - E^\circ (\text{Hg}_2\text{Cl}_2/\text{Hg(l)}) + \frac{RT}{2F} \ln [\text{Cl}^-]^2 [\text{Ag}^+]^2$$

L'évolution du système chimique dépend selon l'équation de Nernst :

- des potentiels de référence $E^\circ \text{Ag}^+/\text{Ag}$ et $E^\circ \text{Hg}_2\text{Cl}_2/\text{Hg(l)}$
- de la température et de la pression
- des concentrations de Cl^- et Ag^+

1.2. Activités des étudiants

A partir de la question 1, nous nous proposons de voir si les étudiants font le lien entre la valeur lue sur le voltmètre c'est-à-dire la valeur de la ddp (Mes) et le potentiel du système chimique (G) : il s'agit du lien : (Mes, G) représenté par (1, 2). Les étudiants doivent alors définir les couples mis en jeu (o) et la réaction d'oxydoréduction (é) correspondante : il s'agit du lien (o, é) représenté par (3, 4). Une fois l'équation de la réaction (é) définie, les étudiants doivent fournir l'équation de Nernst (t) qui correspond à l'équation : il s'agit du lien (é, t) représenté par (4, 5).

Pour prévoir l'évolution du système (é), l'apprenant doit se référer aux grandeurs (G) qui le caractérisent : les concentrations des entités, les potentiels de référence des couples mis en jeu, (et dans certains cas que nous n'envisageons pas dans notre étude : la température et la pression du système). En se référant à l'équation de Nernst (t), l'apprenant doit relier l'évolution du système (é) aux grandeurs impliquées (G) : il s'agit du

lien (t, G, é) représenté par (5, 6, 7).

Disposant de toutes ces données l'apprenant sera capable de prévoir la ddp de la pile.

Selon l'analyse à priori et en se référant au savoir savant, les niveaux qui doivent être évoqués s'articulent de la manière suivante :

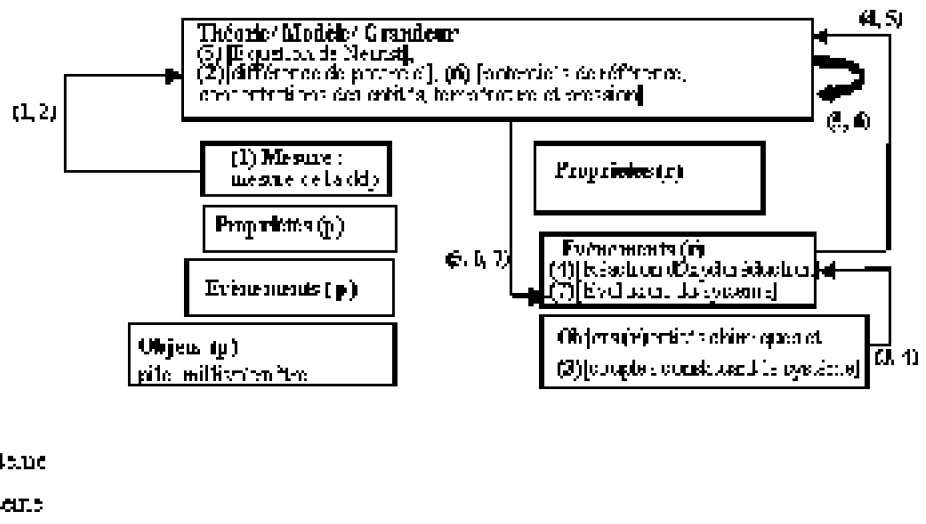


Figure 11 : Modélisation de l'activité prévue de l'étudiant selon le savoir savant (question 1 du questionnaire)

I.2.1. Réponses possibles selon l'étude des conceptions

D'après l'étude des conceptions (Runo & Peters, 1993), l'analyse a priori selon le savoir savant et vu que l'équation de Nernst met en jeu différents paramètres, nous prévoyons que certains étudiants, malgré leur connaissance de cette équation, n'arriveront pas à expliciter les caractéristiques nécessaires pour prévoir la différence de potentiel : il s'agit de l'absence du lien (t, G) c'est-à-dire du lien entre l'équation de Nernst, les concentrations des entités formant le système, la température et la pression.

En se référant aux conceptions des étudiants sur l'irréversibilité des réactions chimiques (Van Driel *et al*, 1998 ; Stavridou & Solomonidou, 1989), nous pensons aussi que des étudiants peuvent raisonner en terme de E° pour prévoir un seul sens d'évolution du système. Ils peuvent alors prévoir l'évolution du système en s'appuyant seulement sur les potentiels de référence. Les étudiants peuvent alors relier la ddp mesurée au potentiel du système oxydoréducteur qu'ils définissent par la différence des potentiels de référence. Il s'agit alors du lien (Mes, G) représenté par le lien (1, 2). Les étudiants vont alors associer aux couples $Hg_2Cl_2/Hg(l)$ et Ag^+/Ag des potentiels de référence, il s'agit du lien (o, G) représenté par (3, 4). Si la différence des potentiels de référence est positive alors l'étudiant prévoit que le système évolue dans le sens direct et si cette différence est négative alors l'étudiant va prévoir que le système évolue dans le sens indirect. Dans ce

cas il s'agit du lien (G, é) représenté par (2, 5).

Dans ce cas la réponse de l'étudiant peut être modélisée comme suit :

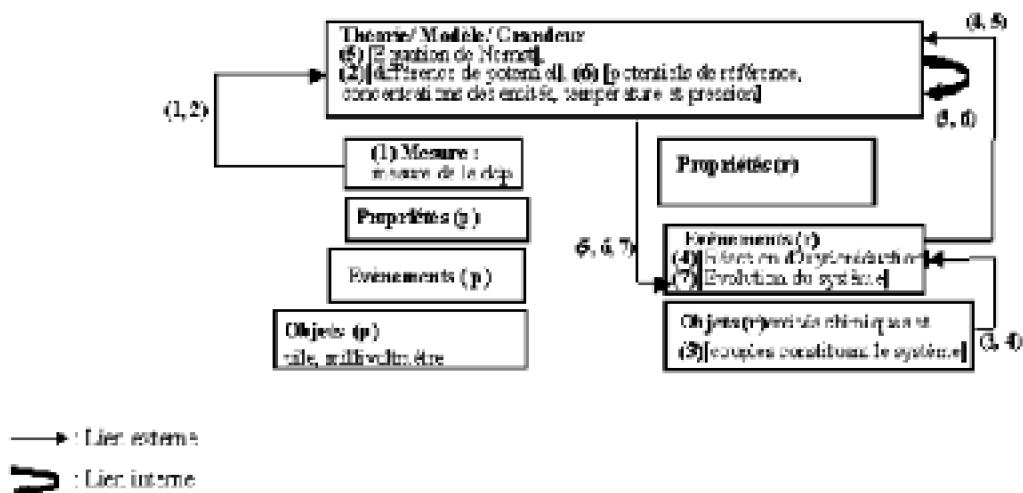


Figure 12 : Modélisation de l'activité prévue de l'étudiant selon l'étude des conceptions (question 1 du questionnaire)

Nous remarquons d'après cette modélisation, que les liens mis en jeu par l'étudiant, en mobilisant le modèle des potentiels de référence, sont moins nombreux que ceux qui doivent être établis pour avoir une réponse acceptable du point de vue du savoir savant. Ceci pourra expliquer le fait que les étudiants vont probablement se référer au modèle des potentiels de référence et ne se référeront pas au modèle de Nernst qui nécessite beaucoup plus de liens.

I.3.Analyse de la question 2 :

Dans la deuxième question (Question 2), on donne le schéma d'un dosage d'oxydoréduction des ions Fe^{2+} par les ions MnO_4^- et le schéma de la courbe de dosage (évolution du potentiel pendant le dosage) correspondante.

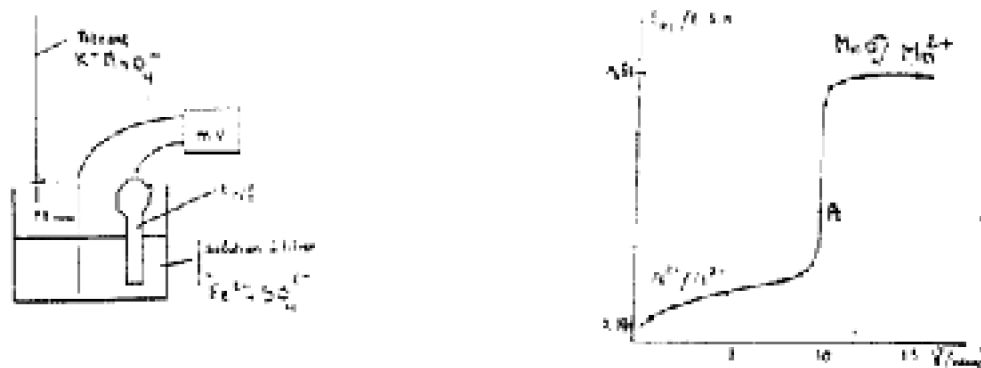


Figure 13 : Schémas du dosage et de la courbe du dosage des ions Fe^{2+} par les ions MnO_4^-

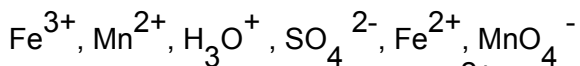
La première question se présente comme suit :

Quels sont les ions en solution lorsqu'on est arrivé au point A indiqué sur la courbe. 1.
(Soit SA la solution à cet instant)

I.3.1. Réponse possible à la première question à partir du savoir savant

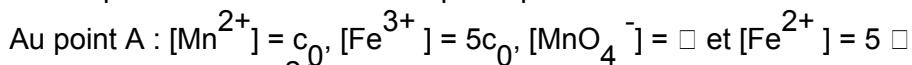
Les réponses acceptables à la question (1) :

- liste des espèces majoritaires : Fe^{3+} , Mn^{2+}
- liste des entités possibles en explicitant les entités minoritaires :



L'étudiant doit préciser que Fe^{2+} , MnO_4^- sont des espèces minoritaires.

Dans les deux cas, pour donner la liste des entités, au point A indiqué sur la courbe, l'étudiant doit donner un sens à ce point d'équivalence. Du point de vue du savoir savant, le point d'équivalence est caractérisé par l'épuisement des réactifs.



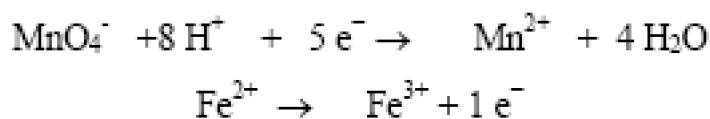
Ceci explique que Fe^{2+} et MnO_4^- sont des espèces minoritaires.

La détermination des ions au point d'équivalence, se fait en plusieurs étapes. L'étudiant doit définir les réactifs, les couples mis en jeu, l'équation de la réaction et enfin les ions présents en solution au point d'équivalence.

L'étudiant doit alors définir les réactifs comme étant : Fe^{2+} , MnO_4^-

Les couples mis en jeu sont : Fe^{3+}/Fe^{2+} et MnO_4^-/Mn^{2+}

l'équation de la réaction doit être établie à partir des deux demi-équations relatives aux deux couples :



L'équation de la réaction résultant d'un transfert d'électrons est alors :



I.4. Activités des étudiants

Pour définir les réactifs (o), l'étudiant doit partir des objets perceptibles qui sont le réactif titrant et la solution à titrer (O) ainsi que de l'événement perceptible (E), qui est le titrage, pour définir les objets reconstruits qui sont les entités de départ (liens : (O,o) et (E, o) représentés respectivement par (1, 2) et (3, 2)).

Pour définir les couples, l'étudiant peut partir des entités présentes (o) et en faisant recours à la théorie d'oxydoréduction (t) (lien : (o,t) représenté par (2,4)), il pourra définir les couples mis en jeu (lien : (4,5)).

Une fois que l'élève a les couples (o), il peut fournir l'équation de la réaction (é) (lien (o, é) représenté par (5, 6))

Après avoir fourni l'équation de la réaction (é), l'étudiant doit faire recours au niveau théorique pour rendre compte de l'équivalence(t) (lien (é,t) représenté par (6, 7)). Le recours à l'équation de la réaction (é) et à l'équivalence (t) permettra de définir les entités présentes (o) (lien (t, é, o) représenté par (7, 6, 2)).

Pour fournir une réponse acceptable du point de vue du savoir savant, l'étudiant doit passer par les étapes suivantes :

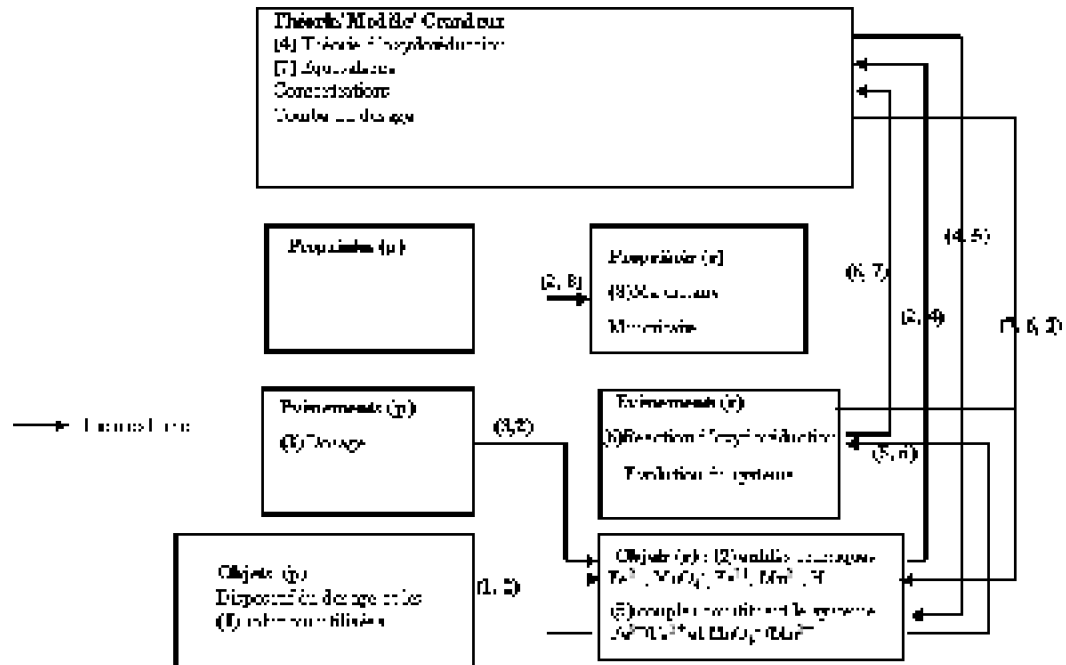


Figure 14 : Modélisation de l'activité prévue de l'étudiant selon le savoir savant (1) de la question 2 du questionnaire)

I.4.1. Réponses possibles des étudiants

D'après l'analyse a priori selon le savoir savant et d'après les niveaux à mobiliser et les liens é établis entre ces niveaux pour fournir une réponse correcte, nous pensons que la probable difficulté de raisonnement du dosage pour les étudiants est la détermination des concentrations, c'est-à-dire l'établissement du lien entre un point de la courbe (Mgr) de variation du potentiel de la solution et des concentrations des entités (G) : il s'agit du lien (Mgr, G). Dans ce cas nous prévoyons que certains étudiants vont fournir la liste des réactifs (Fe^{2+} , MnO_4^-) comme étant les entités existantes à l'équivalence.

L'activité de l'étudiant peut être représentée comme suit :

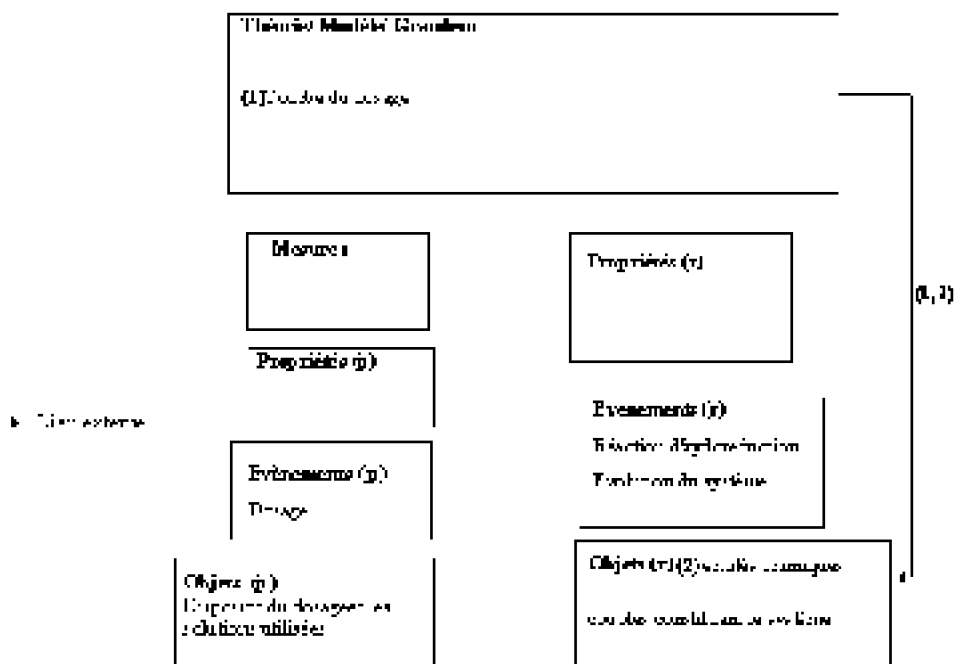


Figure 15 : Modélisation de l'activité prévue de l'étudiant (1) de la question 2 du questionnaire)

I.4.2. Réponses possibles aux questions 2), 3), 4), 5) à partir du savoir savant

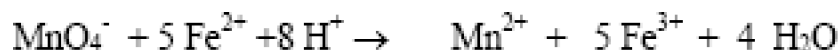
Les questions 2), 3), 4) et 5) présentent une grande similitude et portent toutes sur l'effet d'une perturbation apportée à un système chimique en équilibre.

Nous voulions savoir quels sont les modèles mobilisés par les étudiants pour prévoir l'évolution d'un système chimique lors d'une perturbation apportée à ce système.

Selon le savoir savant, le modèle de Nernst est le modèle le plus convenable qui permet de prédire cette évolution. Les réponses acceptables à ces questions peuvent se déduire aussi à partir de la courbe. En fait la courbe n'est qu'une représentation graphique de l'évolution du potentiel du système chimique.

Pour répondre aux questions 2), 3), 4) et 5), l'étudiant doit raisonner à partir de l'équation de la réaction et de l'équation de Nernst.

L'équation de la réaction est :



Le potentiel du système chimique est donné à partir des équations de Nernst relatives aux deux couples $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$ et $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$

$$E = E^\circ \text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} + \frac{RT}{F} \ln \frac{[\text{Fe}^{3+}]}{[\text{Fe}^{2+}]}$$

$$E = E^\circ \text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+} + \frac{RT}{5F} \ln \frac{[\text{MnO}_4^-] [\text{H}^+]^8}{[\text{Mn}^{2+}]}$$

On peut utiliser l'une ou l'autre des relations. On choisit celle qui est la plus commode : la première avant l'équivalence, les deux à l'équivalence, la seconde après l'équivalence.

L'équilibre est caractérisé par la constante

$$K = \frac{[\text{Mn}^{2+}] [\text{Fe}^{3+}]^5}{[\text{MnO}_4^-] [\text{H}^+]^8 [\text{Fe}^{2+}]^5}$$

La réaction est pratiquement totale, à pH=0

$$K = 10^{5(E^\circ \text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+} - E^\circ \text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+})/0,06} = 10^{61}$$

Au point A, les concentrations des entités sont les suivantes :

$$[\text{Mn}^{2+}] = c_0, [\text{Fe}^{3+}] = 5c_0, [\text{MnO}_4^-] = \varepsilon \text{ et } [\text{Fe}^{2+}] = 5\varepsilon$$

Concernant la deuxième question, l'ajout d'une solution de sulfate de manganèse $\text{Mn}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$ à S_A ne pourra pas affecter l'équilibre du système car la réaction directe est quasi-totale, seule la concentration $[\text{Mn}^{2+}]$ augmente. Ceci peut se traduire par un déplacement sur la courbe indiquant une diminution du potentiel du système. Cette diminution est due à l'augmentation de la concentration $[\text{Mn}^{2+}]$ mais n'indique pas un déplacement d'équilibre du système.

Pour la troisième question, l'ajout d'une solution de permanganate de potassium $\text{K}^+ + \text{MnO}_4^-$ à S_A ne pourra pas affecter l'équilibre du système car la concentration $[\text{Fe}^{2+}]$

est infinitésimale, c'est seulement la concentration $[\text{MnO}_4^-]$ qui va augmenter. Ceci peut se traduire par un déplacement sur la courbe indiquant une augmentation du potentiel du système. Cette augmentation est due à l'augmentation de la concentration $[\text{MnO}_4^-]$ mais n'indique pas un déplacement d'équilibre du système.

Concernant la quatrième question, l'ajout d'une solution de sulfate ferrique $2 \text{Fe}^{3+} + 3 \text{SO}_4^{2-}$ à S_A ne pourra pas affecter l'équilibre du système car la réaction directe est quasi-totale, c'est seulement la concentration $[\text{Fe}^{3+}]$ qui va augmenter. Ceci peut se traduire par un déplacement sur la courbe indiquant une augmentation du potentiel du système. Cette augmentation est due à l'augmentation de la concentration $[\text{Fe}^{3+}]$ mais n'indique pas un déplacement d'équilibre du système.

Pour la cinquième question, l'ajout d'une solution de sulfate ferreux $\text{Fe}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$ à S_A ne pourra pas affecter l'équilibre du système car la concentration $[\text{MnO}_4^-]$ est infinitésimale, c'est seulement la concentration $[\text{Fe}^{2+}]$ qui va augmenter. Ceci peut se traduire par un déplacement sur la courbe indiquant une diminution du potentiel du système. Cette diminution est due à l'augmentation de la concentration $[\text{Fe}^{2+}]$ mais n'indique pas un déplacement d'équilibre du système.

Activités des étudiants :

Nous faisons l'hypothèse que, pour fournir une réponse correcte du point de vue du savoir savant, l'apprenant doit s'appuyer sur le modèle de Nernst.

A l'aide du modèle de Nernst, les étudiants auront à relier les changements de concentrations des entités formant le système chimique à un changement de potentiel du système ou à un déplacement sur la courbe.

Les étudiants peuvent alors établir les liens suivants :

Soit entre l'équation de Nernst, les concentrations des entités et l'évolution du potentiel du système (t, G, o, é). Il s'agit alors des liens : (1, 2) ; (2, 3) et (3, 4)

Soit entre les concentrations des entités présentes dans le système et le graphe du dosage (la variation du potentiel de la solution) (G, o, Mgr). il s'agit alors des liens : (2, 3) ; (3, 4)

En s'appuyant sur notre cadre théorique didactique et chimique, nous pouvons représenter la réponse avec le schéma suivant :

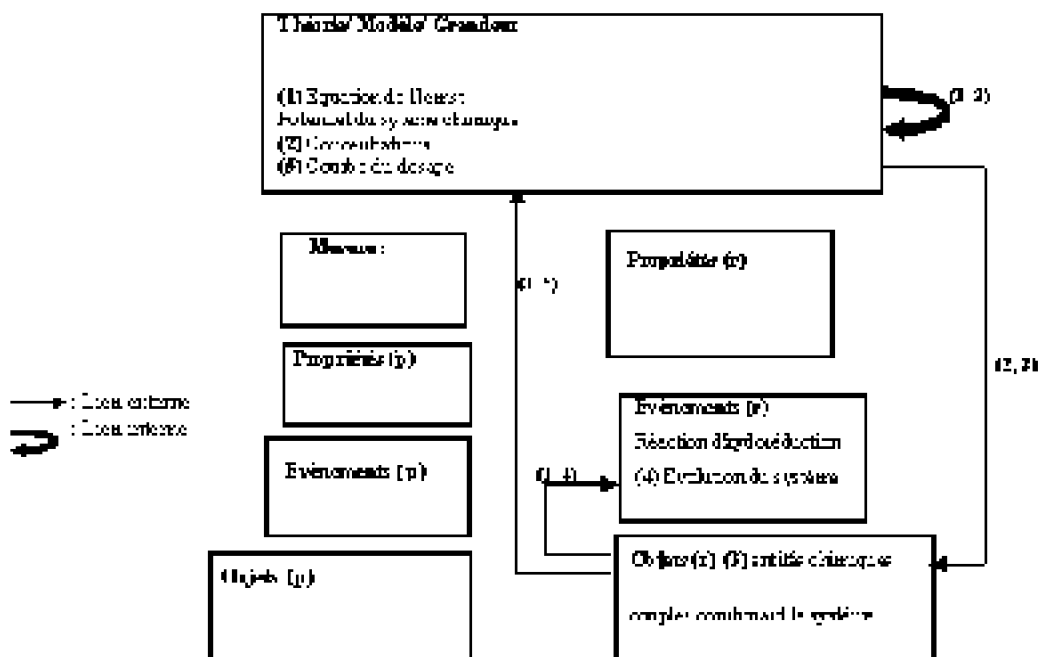


Figure 16 : Modélisation de l'activité prévue de l'étudiant selon le savoir savant (2), 3), 4), 5) de la question 2 du questionnaire)

I.4.3. Réponses possibles selon l'étude des conceptions

Selon l'étude des conceptions en oxydoréduction (présentée ultérieurement), les modèles pouvant être mobilisés par les apprenants pour expliquer l'évolution d'un système oxydoréducteur, sont :

- le modèle de Le Chatelier (Stavridou & Solomonidou, 2000)
- le modèle de couple de charges (Schmidt, 1995)
- le modèle de la réaction directe (Van Driel et al., 1998)

Modèle de Le Chatelier

Concernant les questions 2) 3) 4) 5) nous faisons l'hypothèse que plusieurs étudiants ne vont pas avoir recours au modèle de Nernst car il met en jeu des liens de type (t, o, G) assez compliqués pour les étudiants.

Nous pensons aussi que pour ces questions les étudiants auront des difficultés à relier les changements de concentrations des entités formant le système chimique à un déplacement sur la courbe

La question qu'on doit se poser concernant le modèle de Le Chatelier est la suivante : pourquoi ce modèle ne fonctionne-t-il pas pour répondre aux questions posées ?

En fait en raisonnant selon le modèle de Le Chatelier, les étudiants risquent de

prévoir une évolution significative du système oxydoréducteur alors que réellement le système n'évolue pratiquement pas.

Concernant les questions suivantes (2) (3) (4) (5), nous pensons que les étudiants vont s'appuyer principalement sur la loi de Chatelier-Van't Hoff (Stavridou & Solomonidou, 2000), le système sera déplacé dans le sens qui tend à annuler le changement effectué.

Pour (2), il s'agit de voir s'il y a des étudiants qui vont appliquer la loi de Le Chatelier et faire agir l'oxydant le plus faible sur le réducteur le plus faible et prévoir une réaction dans le sens inverse alors que la réaction directe est quasi-totale.

Pour (3) , il s'agit de voir si les étudiants conçoivent qu'il y a réaction d'oxydoréduction alors qu'il n'y a pas de réducteur.

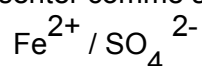
Pour (4), il s'agit de voir si les étudiants vérifient l'importance de la perturbation apportée au système en ayant recours à l'équation de Nernst. Nous pensons que les étudiants ne vont pas voir que cette perturbation est vraiment minime, mais ils diront que le système va évoluer dans le sens indirect selon la loi de le Chatelier.

Pour (5) il s'agit de voir si les étudiants conçoivent qu'il y a réaction d'oxydoréduction alors qu'il n'a pas d'oxydant.

Modèle des couples de charges

Concernant le modèle des couples de charges d'après Schmidt (1995) pour certains apprenants les cations et les anions de même charge mais de signes contraires s'associent pour former un couple. Cette association représente pour certains étudiants un couple conjugué. Ainsi un couple d'ions de charges de signes contraires peut être considéré par certains étudiants comme un couple conjugué.

Concernant les questions 2) 3) 4) et 5), nous prévoyons que certains étudiants vont faire des associations d'ions de même charges et de signes contraires pour déduire qu'il y a formation d'un précipité ou bien pour définir des couples redox. Les couples de charges qui pourraient être assimilés, par les étudiants, à des couple oxydoréducteur peuvent se présenter comme suit : K^+ / MnO_4^-



Modèle de la réaction directe ou modèle redox de base

Selon les chercheurs d'Arizona State University (2001) et selon Van Driel et al. (1998) beaucoup d'apprenants conçoivent qu'une réaction chimique ne peut évoluer que dans un sens direct. Tenant compte de ce modèle nous prévoyons que pour interpréter une perturbation apportée au système à l'équilibre, certains étudiants vont se contenter de l'écriture de l'équation de la réaction dans un sens direct sans se soucier des caractéristiques du système.

Concernant les questions 2) 3) 4) 5), nous pensons que les étudiants vont partir des réactifs dont ils disposent pour écrire l'équation de la réaction dans le sens direct.

II. Analyse a priori de la situation A1

II.1.0 Analyse a priori de l'expérience 1

II.1.1. Réponse possible à partir du savoir savant

Nous nous proposons à travers la situation A1, expérience 1, de faire apparaître les difficultés d'interprétation des faits expérimentaux utilisant les grandeurs E et E°.

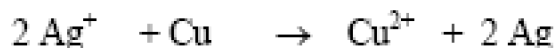
Nous partons d'une solution de nitrate d'argent dans laquelle on fait tremper une lame de cuivre, nous demandons aux apprenants de donner la composition chimique du dépôt.

En nous basant sur le savoir savant, nous nous attendons à avoir comme réponse :
la formation de Ag sur la lame de cuivre.

Pour cette réponse nous nous attendons que les observations expérimentales (dépôt blanc qui noircit à la lumière) guident les étudiants à conclure qu'ils sont en présence du métal argent : Ag. Partant des réactifs dont ils disposent, les étudiants peuvent aussi vérifier ces observations expérimentales par l'écriture de l'équation de la réaction (demandée dans la question suivante).

Par la suite nous demandons aux apprenants de donner une équation chimique qui rend compte de ces observations.

Nous nous attendons qu'ils nous répondent comme suit :



Concernant la troisième et la quatrième question et pour fournir une réponse correcte, les étudiants doivent articuler le modèle de Nernst avec les caractéristiques du système : concentration, température et pression.

Si la différence de potentiel (E) de la pile correspondant au système est positive, il est possible d'avoir la réaction d'équation :



$$\Delta E = E^\circ \text{Cu}^{2+}/\text{Cu} - E^\circ \text{Ag}^+/\text{Ag} + \frac{RT}{2F} \ln \frac{[\text{Cu}^{2+}]}{[\text{Ag}^+]^2}$$

La possibilité du déroulement de la réaction inverse par rapport à celle décrite dans les questions 1 et 2 ne respecte pas le modèle des potentiels de référence. Selon le

savoir savant cette réaction est possible si le potentiel du système est positif.

La différence de potentiels (E) peut être positive selon les valeurs des concentrations des ions Cu^{2+} et Ag^+ et aussi selon la valeur de la température et de la pression.

II.1.2. Activités des étudiants

Les deux premières questions supposent que les étudiants sont capables de faire la liste des objets-événements perceptibles (E, O), de faire la liste des objets reconstruits (o : Ag^+ , Ag , Cu^{2+} et Cu) et de faire des hypothèses sur ce qui s'est formé, c'est-à-dire reconstruire l'événement (é) dans les termes de la chimie en fournissant l'équation de la réaction.

Pour la troisième et la quatrième question, les étudiants doivent partir des entités figurant dans les données (o) pour se faire une idée de la réaction (é) qui a pu se produire : il s'agit du lien (1, 2). Par la suite ils doivent relier l'équation de la réaction (é) à l'équation de Nernst (t) : il s'agit du lien (é, t) représenté par (2, 3). Une fois l'équation de Nernst écrite, la discussion de l'évolution du système chimique se fait en se référant aux paramètres de l'équation de Nernst : lien (t, é, G) représenté par (3, 4, 5). Les étudiants doivent alors mettre une hypothèse sur les concentrations et leur importance dans l'évolution d'un système chimique et doivent aussi faire référence aux conditions de l'expérience c'est à dire à la température et à la pression.

L'activité de l'étudiant relative à la troisième et la quatrième question peut être représentée comme suit :

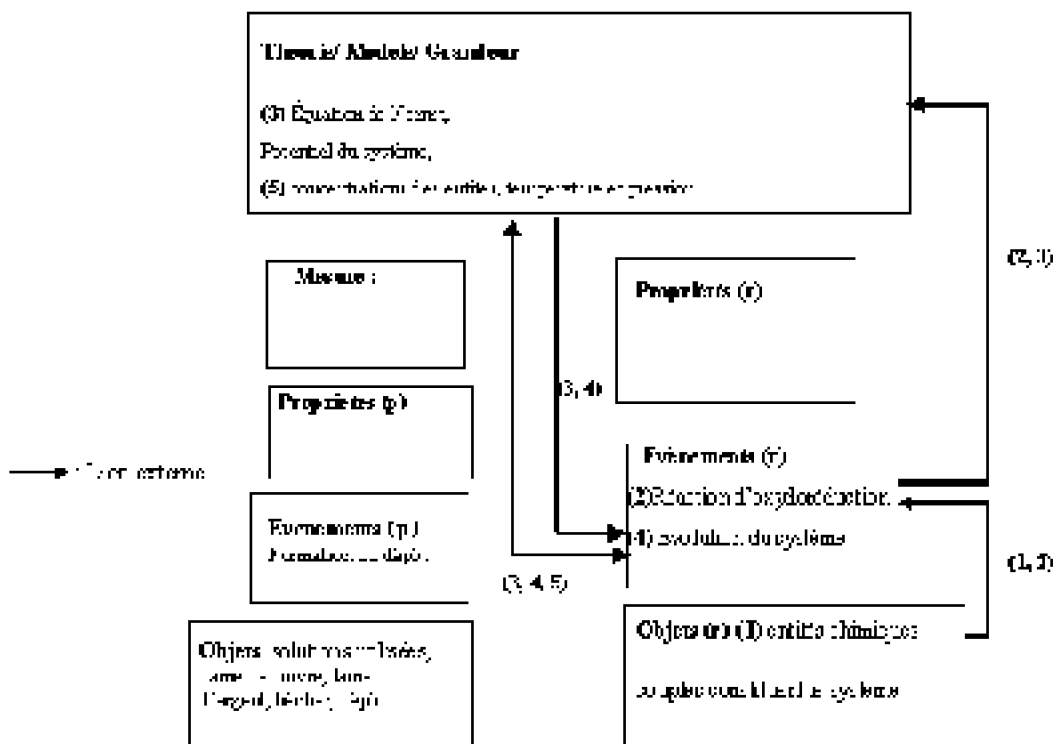


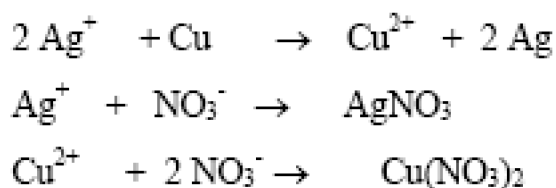
Figure 17 : Modélisation de l'activité prévue de l'étudiant selon le savoir savant (questions 3) et 4), expérience 1, situation A1)

II.1.3. Réponses possibles à partir de l'étude des conceptions :

D'après l'étude des conceptions (Van Driel et al., 1998; Schmidt, 1995; Stavridou & Solomonidou, 2000), nous prévoyons que les apprenants peuvent faire recours à d'autres modèles, qui peuvent être inappropriés, pour expliquer l'évolution d'un système oxydoréducteur. Concernant la composition chimique du dépôt, nous faisons l'hypothèse que les étudiants peuvent envisager la possibilité de formation du sel $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ou AgNO_3 que nous interpréterions comme une utilisation du modèle du couple de charges.

Par la suite nous demandons aux apprenants de donner une équation chimique qui rend compte de ces observations.

Nous attendons qu'ils répondent selon ces trois possibilités :



Pour la première équation nous prévoyons que certains étudiants donnent cette réponse car ils peuvent écrire cette réaction d'oxydoréduction : il s'agit du modèle de la réaction directe. Nous pensons aussi que d'autres étudiants vont raisonner en terme de E° .

Pour la deuxième et la troisième équation, les étudiants mettent en oeuvre leur modèle de couple de charge.

En nous appuyant sur l'un des résultats du workshop d'Arizona state university (2001) selon lequel les potentiels des électrodes sont absolus et peuvent être utilisés pour prédire si une réaction est spontanée, nous faisons l'hypothèse que pour répondre à la troisième et à la quatrième question, certains apprenants vont appliquer le modèle prédictif E° sans se soucier des caractéristiques du système : concentration, température et pression.

II.1.4. Activités des étudiants

Pour la troisième et la quatrième question, la prévision de l'évolution du système se fera en appliquant le modèle des potentiels de référence aux entités mises en jeu (liens : (1, 2) et (3, 4)).

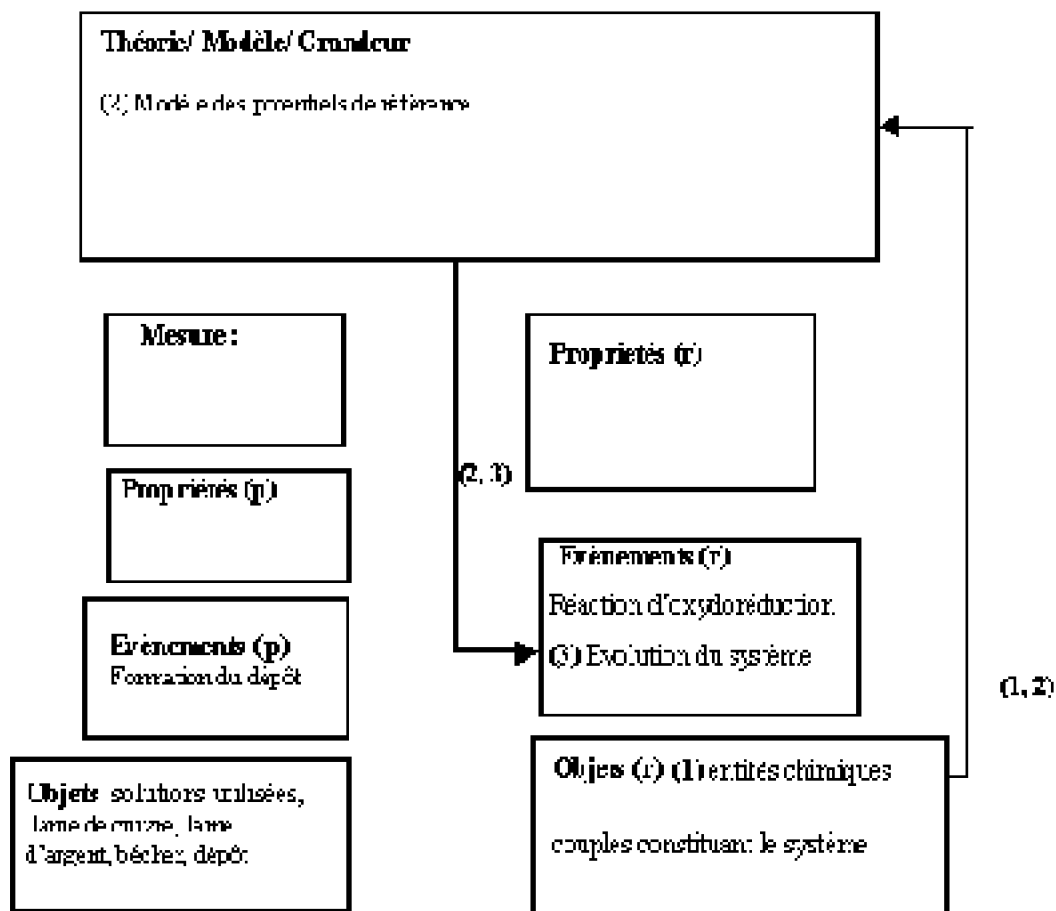


Figure 18 : Modélisation de l'activité prévue de l'étudiant selon l'étude des conceptions (questions 3) et 4), expérience 1, situation A1)

En se référant aux conceptions sur l'irréversibilité de la réaction chimique, nous prévoyons que certains étudiants vont s'appuyer sur le modèle prédictif des potentiels de référence et vont conclure que la réaction ne peut pas se passer dans le sens inverse.

A travers la situation A1 expérience 2, nous nous proposons de voir si l'évocation de la réversibilité d'une réaction chimique va orienter les étudiants à adopter un autre modèle prédictif et à abandonner par conséquent le modèle des potentiels de référence.

II.2. Analyse a priori de l'expérience 2

L'énoncé de l'expérience 2 se présente comme suit :

Effectuer le montage suivant : (bécher 1 avec une solution de sulfate ou de nitrate de cuivre dans lequel trempe une lame de cuivre, bécher 2 avec une solution de nitrate d'argent dans laquelle trempe une lame ou une électrode d'argent, un pont salin entre les

deux béchers)

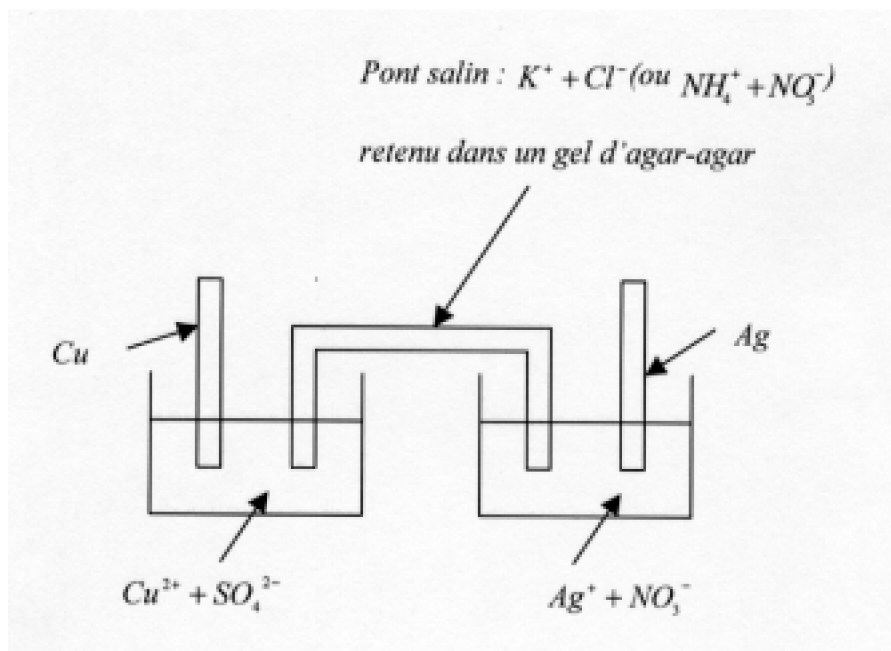


Figure 19 : Figure du montage de l'expérience 2 de la situation A1

Mesurer la ddp entre la lame de cuivre et celle d'argent en reliant la borne com à la lame de cuivre.

Ajouter l'acide chlorhydrique $H^+ + Cl^-$ à la solution de nitrate d'argent.

Mesurer à nouveau la ddp entre la lame de cuivre et celle d'argent.

- Comment peut-on interpréter cette dernière valeur ? 1.
- Comment peut-on interpréter son signe ? 2.
- Quelle correspondance peut-on faire avec l'expérience 1 ? 3.

II.2.1. Réponse correcte à partir du savoir savant

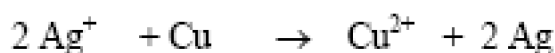
Nous nous proposons de voir, à travers l'expérience 2, si l'étudiant fait le lien entre une ddp mesurée et le potentiel du système chimique. Nous nous proposons aussi de voir, de quelle manière l'étudiant interprète l'effet d'une perturbation apportée au système et comment il explique un changement de signe de la ddp propre au système chimique. Les étudiants auront à relier les changements de concentrations des entités formant le système à l'inversion de la différence de potentiel et au changement du sens d'évolution du système par rapport à l'expérience 1.

A travers la première question nous nous proposons de voir si les étudiants font tout d'abord le lien entre la mesure (la valeur lue sur le voltmètre) et la grandeur potentiel du système chimique. Par la suite nous nous proposons de voir si les étudiants font le lien entre la diminution de la ddp et la diminution des ions Ag^+

D'après le savoir savant et pour pouvoir répondre à la première question, les

étudiants doivent tout d'abord expliciter que la ddp de la pile mesurée n'est autre que le potentiel du système chimique. Ils doivent aussi définir les couples mis en jeu dans la pile électrochimique et qui sont : Cu^{2+}/Cu et Ag^+/Ag . Ce sont les mêmes couples mis en jeu dans l'expérience 1.

Les étudiants doivent préciser, avant l'ajout de l'acide chlorhydrique, que l'équation de la réaction est la suivante :



Ils doivent aussi expliquer que suite à l'ajout de l'acide chlorhydrique, il y a eu diminution du nombre de Ag^+ . En se référant à l'équation de Nernst, le potentiel du

$$\Delta E = E^\circ_{\text{Ag}^+/\text{Ag}} - E^\circ_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} - \frac{RT}{2F} \ln \frac{[\text{Ag}^+]^2}{[\text{Cu}^{2+}]}$$

L'équation de Nernst permet d'interpréter la décroissance de la ddp : le potentiel du système chimique décroît quand la concentration des ions Ag^+ décroît.

A travers la deuxième et la troisième question, nous nous proposons de voir si les étudiants sont capables de relier l'évènement changement de concentration des ions Ag^+ à l'inversion de la différence de potentiel et au changement du sens d'évolution du système par rapport à l'expérience 1. Pour ce faire, les étudiants vont avoir besoin d'utiliser le modèle de Nernst pour interpréter l'inversion de la réaction chimique.

En se référant à l'équation de Nernst, la diminution de la concentrations des ions Ag^+ peut entraîner un potentiel négatif du système, ce qui se traduit par l'inversion de la ddp mesurée.

Pour traduire la correspondance avec l'expérience 1, les étudiants doivent expliquer qu'il s'agit de la même réaction que celle de l'expérience 1 et que cette réaction s'est inversée car la concentration des ions Ag^+ a diminué.

II.2.2. Activités des étudiants

Concernant la première question nous nous proposons de voir si les étudiants font le lien entre la valeur lue sur le voltmètre et le potentiel du système chimique, il s'agit du lien : (Mes, G) représenté par (1, 2). Pour rendre compte du potentiel du système, les étudiants auront besoin de l'équation de Nernst (G, t) représenté par (2, 3).

Nous voudrions aussi voir s'il y a des étudiants qui font recours à l'équation de la réaction d'oxydoréduction et qui donnent du sens à l'équation de Nernst, il s'agit du lien (t, é) représenté par (3, 4) .

Pour interpréter la valeur de la ddp, après avoir apporté une perturbation au système (Mes, E) représenté par (6, 1), les étudiants doivent articuler la concentration de Ag^+ et l'équation de Nernst : lien (o,G, t) représenté par (7, 5, 3) . Par la suite les étudiants

doivent établir le lien entre le potentiel du système, la ddp mesurée et l'évolution du système, il s'agit du lien (G, Mes, é), lien représenté par (2, 1, 8).

Du point de vue du savoir savant, la réponse correcte doit articuler les niveaux suivants :

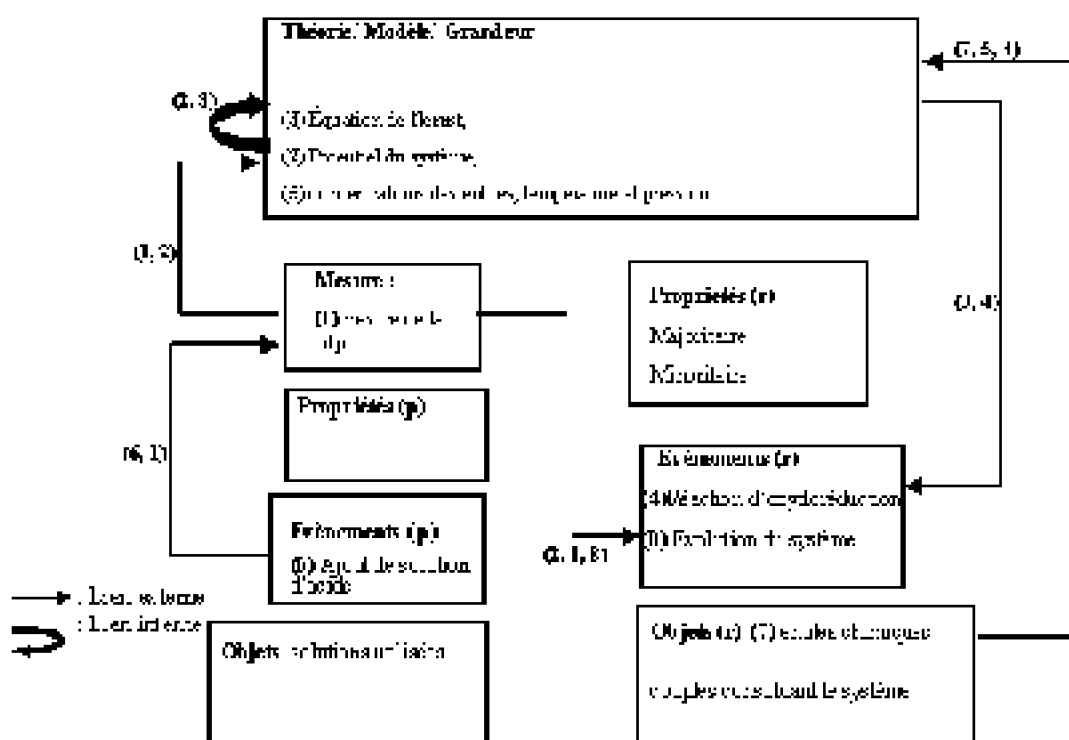


Figure 20 : Modélisation de l'activité prévue de l'étudiant selon le savoir savant (expérience 2, situation A1)

II.2.3. Réponse possible à partir de l'étude des conceptions

Pour la première question, nous pensons que certains étudiants ne vont pas faire le lien entre la valeur lue sur le voltmètre et le potentiel du système.

D'après Runo et Peters (1993), les étudiants ont des difficultés à analyser les différents facteurs qui influencent le voltage d'une pile. Nous prévoyons alors qu'il y aura des étudiants qui vont définir la ddp comme étant la différence des potentiels de référence des couples mis en jeu : $E = E^\circ \text{Ag}^+ / \text{Ag} - E^\circ \text{Cu}^{2+} / \text{Cu}$. Dans ce cas, les étudiants

raisonnent en terme de E° vu la simplicité et la facilité d'application de ce modèle.

En appliquant le modèle des potentiels de référence, nous prévoyons que les étudiants n'arriveront pas à expliquer la valeur et le signe de la ddp car ce modèle ne le permet pas.

Concernant la troisième question, nous faisons l'hypothèse que plusieurs étudiants ne vont pas pouvoir faire la correspondance avec l'expérience 1, car dans le cadre du modèle des potentiels de référence, les concentrations ne sont pas évoquées.

III. Analyse a priori de la situation A₂

L'énoncé de la situation A2 se présente comme suit :

On se propose d'étudier un système redox faisant intervenir les couples $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+$ et I_2/I^- en solution aqueuse.

Quelle équation chimique peut-on écrire ? 1.

On souhaite prévoir le sens d'évolution du système redox constitué d'un mélange de : 2.
 Cu^{2+} , Cu^+ , I_2 , I^- . Comment peut-on prévoir une telle évolution.

Réaliser l'expérience suivante : 3.

Mélanger une solution de sulfate de cuivre $\text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$ avec une solution d'iodure de potassium

Décrire les observations : y a-t-il eu réaction ?

Quelle observation permet de l'affirmer ?

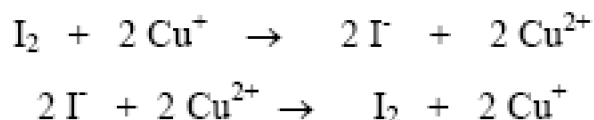
Quelle équation chimique correspond à cette réaction ?

Une telle équation est-elle compatible avec celle prévue à la question 2 ?

III.1. Réponse correcte à partir du savoir savant

Cette situation propose aux étudiants de prévoir l'évolution d'un système chimique faisant intervenir les couples I_2/I^- et $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+$. Dans une seconde étape, on demande aux étudiants de réaliser une expérimentation pour laquelle la réaction chimique évolue dans le sens contraire prévu à l'aide du modèle des potentiels de référence. Nous nous proposons ainsi de faire apparaître la difficulté d'interprétation des expériences en utilisant les grandeurs E et E° .

Pour la première question l'étudiant devra fournir les deux équations :



L'étudiant pourra indiquer que si les conditions expérimentales sont des conditions de référence alors l'équation de la réaction qui aura lieu correspond à l'équation :



L'étudiant devra aussi indiquer que ce sont les valeurs des concentrations qui conditionnent l'évolution du système chimique.

Concernant la deuxième question nous nous proposons de voir si les étudiants font explicitement le lien entre l'évolution du système et l'équation de Nernst.

L'étudiant pourra fournir l'équation de Nernst relative à l'une des deux équations :

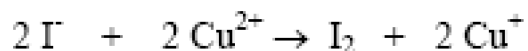


$$\Delta E = E^\circ_{\text{I}_2/\text{I}^-} - E^\circ_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+} + \frac{RT}{2F} \ln \frac{[\text{I}_2][\text{Cu}^+]^2}{[\text{I}^-]^2[\text{Cu}^{2+}]^2}$$

L'étudiant doit expliciter l'importance des concentrations pour la détermination de l'évolution du système chimique.

Pour la troisième question et particulièrement pour a) et b) : il s'agit d'amener l'apprenant à conclure à partir des observations expérimentales qu'il y a eu une réaction. L'étudiant doit constater que l'apparition de la couleur brune témoigne qu'il y a eu une réaction entre les ions cuivre : Cu^{2+} et les ions iodure I^- .

Pour répondre à la question c), l'étudiant doit donner l'équation suivante :



L'objectif de la question d) est de faire expliciter à l'étudiant que la prévision faite pour la question 2 (à l'aide des modèle des potentiels de référence) est incompatible avec la réaction observée.

III.2. Activités des étudiants

Les questions 3c et 3d sont celles qui relèvent explicitement de l'évolution du système chimique dans le sens inverse prévu à l'aide des potentiels de référence. Pour répondre à ces questions les étudiants doivent établir le lien entre les observations faites à propos de la réaction qui s'est passée et l'équation de la réaction. Il s'agit du lien (E, é) représenté par (1, 2). Pour expliquer l'incompatibilité de l'équation de la réaction avec celle prévue à la question 2, les étudiants doivent faire le lien entre l'équation de la réaction, l'équation de Nernst et les caractéristiques du système chimique : concentrations, température et pression. Il s'agit du lien (é, t, G) (2, 3, 4). Les étudiant doivent conclure que ce sont les caractéristiques du système (concentrations, température et pression) qui déterminent son évolution. il s'agit alors du lien (G, é) représenté par (4, 5).

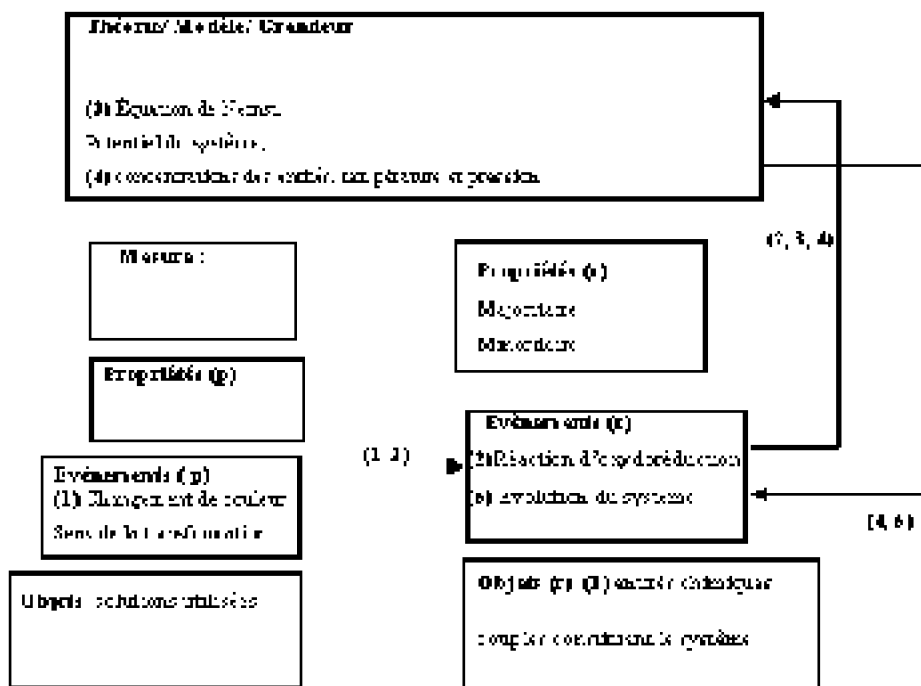


Figure 21 : Modélisation de l'activité prévue de l'étudiant selon le savoir savant (questions 3c) et 3d), situation A2)

III.3. Réponses possibles à partir de l'étude des conceptions

Comme réponse à la question 1, nous prévoyons que certains étudiants vont appliquer le modèle prédictif E° sans souci des caractéristiques du système. La réponse serait alors :



Pour la deuxième question, nous nous attendons à ce que plusieurs étudiants vont encore continuer à argumenter par le modèle prédictif E° et vont expliciter d'avantage la règle et le modèle qu'ils ont appliqués.

Le but de la question 3 est de confronter la prévision déjà faite, à l'aide du modèle prédictif E° , avec les résultats expérimentaux

A partir des questions a) et b), nous nous proposons de voir si l'apprenant va affirmer qu'il y a eu réaction alors que son modèle prédictif (modèle des potentiels de référence) ne la permet pas.

Cette question permet de voir à quel point le modèle prédictif E° est stable pour les étudiants.

Pour l'équation chimique demandée (question c), nous nous proposons de voir si l'apprenant va changer de modèle prédictif E° pour donner un sens à l'équation qu'il va

écrire ou s'il va suivre le modèle redox de base (Van Driel, 1998) c'est à dire va fournir une équation de réaction parce qu'il peut simplement l'écrire sans donner d'argumentation.

L'objet de la question d) est de confronter explicitement la réaction qui s'est déroulée et la prévision théorique (usage de E°) antérieure. Nous voulons voir, à travers cette question, si l'étudiant maintient son modèle prédictif E° ou s'il va se rendre compte que ce modèle est défaillant dans certaines conditions.

Deux types de réponses seront possibles :

- l'étudiant va chercher un autre modèle plus complet et avec un plus large champ de validité : modèle de Nernst (E) ce qui va lui permettre d'expliquer l'incompatibilité observée
- l'étudiant va garder son modèle prédictif (modèle des potentiels de référence) et ne va pas fournir une interprétation à la réaction qui s'est passée.

IV. Analyse à priori de la situation B

L'énoncé de la situation B se présente comme suit :

Produits et matériel :

- Solution d'iodure de potassium $0,1 \text{ mol l}^{-1}$
- Solution de chlorure ferrique $0,1 \text{ mol l}^{-1}$
- Soude concentrée 10 mol l^{-1} .
- toluène
- tube à essai.

IV.1. Mode opératoire

Dans un tube à essai, placer quelques cm^3 de solutions ferrique puis ajouter un léger excès d'iodure de potassium : la coloration brune de l'iode apparaît.

Prélever une partie de la solution et la placer dans un autre tube à essai.

Ajouter quelques cm^3 de toluène. Agiter pour extraire l'iode qui se dissout dans le toluène : cette phase prend une coloration violette et la phase aqueuse se décolore.

En évitant d'agiter les deux phases, ajouter avec précaution, le long du tube, de la soude concentrée : il se forme un précipité vert dans la phase aqueuse.

Agiter l'ensemble : un précipité rouille apparaît et la phase organique se décolore.

- Questions :

1) Quelles sont les observations qu'on peut faire après addition d'une solution de iodure de potassium à une solution ferrique ?

2) Que peut-on dire des potentiels des couples mis en jeu lors de cette expérience ? On justifiera la réponse en utilisant les constatations expérimentales.

3) Lorsqu'on ajoute à ce mélange de la soude concentrée quel est l'hydroxyde qui précipitera la premier ?

4) Après avoir agiter ensuite le tube à assai la couleur vire du vert au rouille, interpréter cette observation en vous basant sur le diagramme potentiel pH du fer.

On donne :

$$E^\circ(I_2/I^-) = 0,54 \text{ v}$$

$$E^\circ(Fe^{3+}/Fe^{2+}) = 0,77 \text{ v}$$

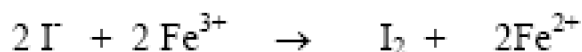
$$E^\circ(Fe^{2+}/Fe) = -0,44 \text{ v}$$

IV.2. Réponse correcte à partir du savoir savant

La situation B a pour but d'interpréter l'évolution d'un système chimique suite à une perturbation (ajout d'une solution de soude). On demande alors aux étudiants d'interpréter l'évolution du système à l'aide du diagramme potentiel-pH.

La première question vise à déterminer les produits de la réaction d'iodure de potassium et de la solution ferrique. L'identification des produits résulte des observations expérimentales (coloration brune de l'iode) décrites dans la partie « mode opératoire ». Les produits résultant de la réaction sont : I_2 et Fe^{2+} .

L'obtention de ces produits peut être confirmée par l'écriture de l'équation de la réaction :

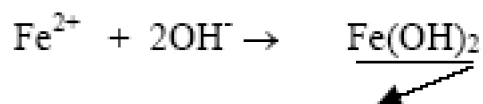


Pour répondre à la deuxième question, les étudiants doivent déterminer l'équation de la réaction en se référant aux observations expérimentales. En s'appuyant sur cette équation, ils peuvent raisonner par le modèle de Nernst.

En raisonnant par ce modèle, la comparaison des potentiels des couples mis en jeu se présente de la manière suivante:

$$E(Fe^{3+}/Fe^{2+}) > E(I_2/I^-)$$

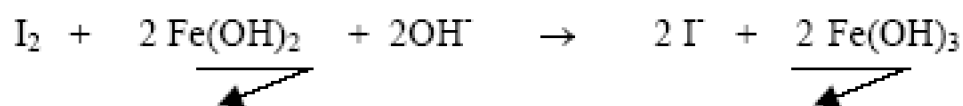
Pour répondre à la troisième question, les étudiants doivent faire recours à l'équation de la réaction pour déterminer la nature du précipité :



Le but de la quatrième question est de voir comment les apprenants vont interpréter

le virage de la couleur du précipité vert suite à l'agitation des deux phases aqueuse et organique. Pour fournir une réponse correcte, les étudiants doivent identifier les entités mises en jeu et par la suite prévoir l'évolution du système en fonction du modèle graphique E-pH. Cependant l'identification des entités peut poser certaines difficultés et les étudiants doivent se rendre compte que l'agitation des deux phases a mis en jeu l'iode I_2 .

D'après cette quatrième question les étudiants doivent se baser sur le diagramme potentiel pH ; nous nous proposons de voir comment les étudiants raisonnent quand ils sont devant deux variables E et pH. A partir du diagramme, les étudiants doivent établir le lien entre les variables E et pH et arriver à la constatation qu'en milieu basique, l'iode (I_2) peut oxyder le fer (II) selon l'équation :



Activités des étudiants :

Pour la première question, les étudiants doivent faire le lien entre les évènements perceptibles: changement de couleur avec la nature de l'entité qui apparaît en solution ; il s'agit du lien (E, o) représenté par (1, 2). Aussi les étudiants devront associer les observations expérimentales à la réaction chimique qui se déroule ; il s'agit du lien (E, é) représenté par (1, 3). Pour comparer les potentiels des couples mis en jeu lors de la réaction, les étudiants doivent partir de l'équation de la réaction pour l'interpréter avec le modèle de Nernst ; il s'agit du lien (é, Mch) représenté par le lien (3, 4). L'usage de l'équation de Nernst permet alors de comparer les potentiels des couples mis en jeu ; lien (Mch, G) représenté par (4, 5)

Concernant la troisième question, les étudiants doivent avoir recours à l'équation de la réaction pour déterminer la nature du précipité ; il s'agit du lien (é, o) représenté par (3, 2)

Pour répondre à la quatrième question, les étudiants doivent relier l'agitation des deux phases et le changement de couleur à l'introduction de l'iode dans la solution ; il s'agit du lien (E, E, o) représenté par (1, 6, 2). Après avoir identifié les entités et les couples présents, les étudiants doivent se référer au diagramme potentiel-pH ; il s'agit du lien : (o, Mgr) représenté par (2, 7). Les étudiants doivent se baser sur le diagramme potentiel pH, pour constater qu'en milieu basique l'iode peut oxyder le fer (II) ; il s'agit du lien (p, é) représenté par (8, 3).

Nous pouvons représenter les réponses attendues selon le savoir savant comme suit :

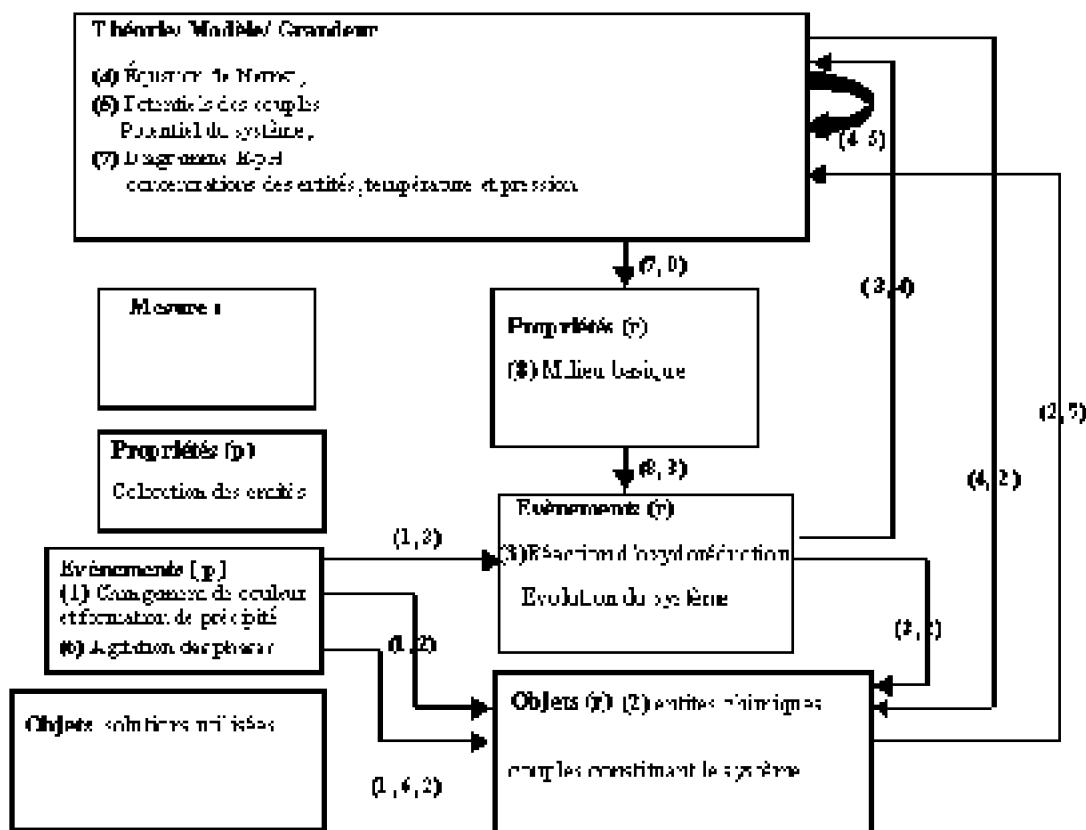


Figure 22 : Modélisation de l'activité prévue de l'étudiant selon le savoir savant (situation B)

D'après l'analyse a priori nous remarquons que l'activité de l'étudiant est centrée sur le modèle de Nernst qui occupe un rôle principal dans l'interprétation de l'évolution du système oxydoréducteur.

IV.3. Réponse possible à partir de l'étude des conceptions

Vu que la première question vise à déterminer les produits de la réaction d'iodure de potassium et de la solution ferrique à partir des observations expérimentales, nous prévoyons que cette question ne posera pas de problème pour les étudiants.

Pour la deuxième question, l'enjeu est de comparer les potentiels des couples mis en jeu à partir des observation expérimentales. Nous prévoyons que certains étudiants vont mobiliser le modèle des potentiels de référence et n'arriveront pas à faire le liens entre le sens de la réaction et les potentiels des couples mis en jeu.

En raisonnant par le modèle des potentiels de référence, nous prévoyons que plusieurs étudiants vont arriver à comparer les potentiels de référence des couples mis en jeu de la manière suivante:



Concernant la troisième question, nous prévoyons que les étudiants vont seulement se baser sur l'observation expérimentale pour identifier le précipité formé.

Pour la quatrième question, nous prévoyons que l'identification de l'iode, mis en jeu suite à l'agitation des deux phases, va poser problème aux étudiants. En plus, faisant recours au diagramme potentiel-pH, nous nous attendons à ce que les étudiants traitent indépendamment la variation de pH et la variation du potentiel. Ceci devrait les empêcher de trouver l'équation de la réaction.

PARTIE C : Analyse des données recueillies à propos des concepts fondamentaux et des notions fondatrices relatifs à la liaison chimique

Introduction

Nous rappelons que pour cette expérimentation, nous nous intéressons aux problèmes et aux difficultés que posent les concepts fondamentaux de la chimie (atomes, ions, molécules, liaisons chimiques, réactions chimiques) en relation avec l'appropriation du sens des demi-équations en oxydoréduction.

Nous avons cherché à mettre les élèves en situation d'utiliser des concepts dans le cadre de l'atomistique, pour leur faire développer des connaissances d'un autre cadre, celui de l'oxydoréduction.

Nous avons choisi trois niveaux d'étude : la seconde, la première du secondaire et le SP & SM du supérieur. Au niveau de la seconde et selon le programme officiel français, c'est seulement les concepts fondamentaux en atomistique qui sont enseignés. Au niveau

de la première il y a l'enseignement des concepts fondamentaux d'oxydoréduction.

L'expérimentation est basée sur une tâche papier-crayon réalisée dans les différentes classes avec la seule présence du professeur.

Nous rappelons que la tâche papier-crayon est composée de deux questions : la première traite seulement les représentations des atomes et des molécules et ne fera pas l'objet de ce travail. La seconde traite la formation de liaison chimique lors d'un transfert d'électrons ; cette deuxième question fera l'objet de cette étude.

Lors de la préparation de cette expérimentation, nous avons prévu que les copies des apprenants pourraient ne pas nous fournir assez d'informations sur leurs démarches pendant qu'ils effectuent la tâche papier-crayon.

C'est pour cette raison et afin de compléter nos données de recherche, nous avons réalisé des entretiens d'explicitation (Vermersch, 1991) avec quelques élèves qui présentaient certains types de réponses que nous avons souvent repérés aux niveaux des copies. Cette technique nous permet de mieux comprendre certains aspects de la production de l'apprenant et des processus cognitifs qui ont prévalu à son élaboration.

A travers la tâche papier-crayon et les entretiens d'explicitation, nous nous proposons de voir :

Lors de la mobilisation des concepts et des modèles fondamentaux d'atomistique et d'oxydoréduction par les apprenants de première, de seconde et de mathématique supérieure, quels sont les niveaux de modélisation mis en jeu par ces apprenants et quelles sont les relations établies entre ces différents niveaux ?

Quelles sont les notions fondatrices pour les apprenants lorsqu'ils résolvent une tâche impliquant le transfert d'électrons ?

Nous faisons l'hypothèse que c'est avec les notions utilisées par les élèves que ces derniers vont pouvoir construire de nouvelles connaissances, c'est-à-dire, que seules les notions utilisées peuvent être fondatrices.

Nous faisons aussi l'hypothèse que, selon l'évolution des niveaux scolaires, il y a une évolution de la nature des niveaux de modélisation mobilisés par les apprenants.

I. Tâche papier-crayon

La tâche papier-crayon et particulièrement la deuxième question de cette tâche est originale, car elle traite la formation de la liaison chimique qui peut être abordée de différentes manières.

Selon notre cadre théorique didactique (modèle des deux mondes), la question posée se situe dans le monde reconstruit, car elle met en jeu des entités abstraites résultantes d'une construction chimique. Nous avons constitué une grille « des facettes » (Minstrell, 1991) des concepts telles que les élèves les expriment. Nous avons alors estimé que, pour la tâche demandée, les trois sous-domaines des représentations symboliques et

iconiques, de l'événement et des propriétés pourraient suffire pour nous éclairer sur l'activité cognitive des apprenants quand ils abordent les différents concepts évoqués dans la tâche.

I.1. Validation de la grille d'analyse des activités de modélisation des élèves

Nous avons envoyé à des experts : chimistes, enseignants et didacticiens, la deuxième question de la tâche papier-crayon en leur demandant leurs réponses. Nous leur avons aussi fourni sept exemples de réponses des élèves et nous leur avons posé la question suivante :

« Il a été posé la question ci-dessous à des élèves de 2de, 1S et math spé. Nous souhaiterions savoir si vous estimez que les réponses proposées sont complètes ou pas. Si elles ne le sont pas, veuillez nous dire quelle(s) connaissance(s) est (sont) manquante(s). »

Nous avons recueilli des réponses diverses qui témoignent que cette question peut être abordée de différentes manières.

D'après les réponses des chimistes, des enseignants et des didacticiens à la question, nous avons constaté qu'il y a un consensus (9 réponses parmi 11) sur la nécessité de présence des concepts fondamentaux suivants :

- le transfert d'électrons : la cession de l'électron (périphérique) de Li (devenant Li^+) à H^+ (devenant H)
- la mise en commun des électrons des deux atomes H : chaque atome fournit un électron pour constituer la liaison
- la nature ou les propriétés de la liaison chimique

Deux réponses diffèrent des autres 9 réponses, car elles présentent seulement quelques indications.

Une première réponse insiste sur les notions principales de seconde en les mentionnant de la manière suivante :

- formation d'atomes et d'ions
- répartition électronique en différentes couches
- règle du duet et de l'octet
- représentation de Lewis

Une seconde réponse est très générale et indique que « cette réaction n'est qu'un modèle d'une transformation probablement plus complexe, modèle qui ne prend en compte que l'état initial et l'état final indépendamment des mécanismes divers et variés qui conduisent du premier au dernier. par conséquent seuls comptent ici le respect de la conservation des éléments et de celle de la charge. on ne peut répondre à la question du mécanisme de construction de la liaison »

Tenant compte des réponses des spécialistes, nous avons validé les quatre catégories relatives aux concepts fondamentaux (rappelées ci-dessous) qui peuvent être mis en œuvre pour répondre à la question posée.

Nous rappelons que pour analyser les réponses des élèves, des étudiants, et aussi les réponses des experts, nous avons construit une grille en nous basant sur notre cadre théorique. Cette grille prévoit de quelle manière les apprenants peuvent se référer aux concepts fondamentaux et aux différentes notions qui peuvent être abordées pour répondre à la question posée. Pour rendre compte des notions fondatrices que peuvent avoir les apprenants, nous avons prévu, dans la construction de la grille, des facettes des concepts susceptibles d'être exprimées par les élèves.

Nous avons fait l'hypothèse que seule l'analyse des réponses des experts et des élèves va nous permettre de connaître la totalité des facettes qu'on peut rencontrer.

Les quatre catégories que nous avons validées sont les suivantes :

- la première catégorie est relative aux différents composants du système chimique (atome, ion, molécule) à l'échelle microscopique
- la seconde catégorie est relative à la transformation chimique du système à l'échelle macroscopique
- la troisième catégorie est relative à la liaison chimique
- la quatrième catégorie est relative à la couche électronique

Tenant compte des réponses des apprenants et des experts, la grille se présente comme suit :

Tableau 3 : Grille d'analyse des réponses à la tâche papier-crayon

PARTIE C : Analyse des données recueillies à propos des concepts fondamentaux et des notions fondatrices relatifs à la liaison chimique

	niveaux concepts Fondamentaux	représentation symbolique et iconique (r)	évènement (é)	Propriété (p)
objet	atome, ion, molécule (a)	Lewis Li H (ar)	gain, perte, transfert, échange, don d'électrons échange des charges participer par un électron capter, fixer, prendre, récupérer, gagner, arracher (aé)	possède un ou plusieurs électrons possède une ou plusieurs charges peut avoir une liaison covalente (ap)
évènement	transformation chimique (t)	équation demi-équation (tr)	Réaction (té)	Oxydoréduction équilibrée (tp)
modèle du produit	liaison chimique (l)	nuage électronique (lr)	formation, constitution, création de doublet les atomes se soudent, se lient, s'attirent, se combinent, se rassemblent (lé)	covalente, liante, simple, double, dative (lp)
modèle du réactif	couche électronique (c)	K, L, M, N (cr)	saturer, remplir la couche modification (cé)	externe, périphérique valence complète saturée (cp)

D'après les diverses réponses des experts, nous avons aussi défini les concepts fondamentaux qui doivent figurer dans une réponse complète. Ces concepts fondamentaux sont :

- le transfert d'électrons : la cession de l'électron périphérique de Li (devenant Li^+) à H^+ (devenant H). Ce transfert d'électrons est catégorisé d'après notre grille comme étant (aés): évènement spécial au niveau de l'atome
- la mise en commun des électrons des deux atomes H : chaque atome fournit un électron pour constituer la liaison. La mise en commun des électrons est catégorisée comme étant (lés) : évènement spécial au niveau de la liaison

- la nature ou les propriétés de la liaison chimique, catégorisée comme étant (lps) : propriété spéciale de la liaison

I.2.Résultats et interprétation de la tâche papier-crayon

L'objectif de l'analyse des copies des élèves, est de repérer la fréquence des catégories (ar, aé...) mises en jeu par les apprenants pour traiter particulièrement les concepts fondamentaux : atome, ion, molécule, transformation chimique, liaison chimique et couche électronique.

Le test posé évoque un événement reconstruit : une réaction chimique. Pour fournir une réponse complète, les élèves vont devoir mettre en jeu les objets reconstruits impliqués lors de l'événement reconstruit considéré. La question est de savoir à quels sous-domaines les élèves se réfèrent pour répondre à ce test.

En appliquant la grille d'analyse et à travers la catégorisation de la réponse de chaque apprenant, nous nous proposons de voir :

- quelles sont les connaissances auxquelles l'apprenant fait recours ?
- comment ces catégories varient-elles selon le niveau scolaire ?
- pour un niveau scolaire donné, de quelle manière certaines catégories dépendent-elles les unes des autres?

Pour répondre à ces questions nous avons procédé par trois niveaux d'analyses statistiques :

Le premier niveau d'analyse est global et permet de donner une idée sur la présence des différentes catégories selon les différentes classes.

Afin d'effectuer une étude comparative entre les différentes classes, un second niveau d'analyse fait apparaître précisément les fréquences de mobilisation des différentes catégories pour les différentes classes et ceci pour les réponses complètes d'une part et pour les réponses non complètes d'autre part. La représentation des fréquences de mobilisation des différentes catégories pour les différentes classes répond à un besoin de normaliser le traitement afin de pouvoir faire la comparaison entre ces différentes classes.

Le troisième niveau d'analyse est encore plus fin. Il va nous permettre à l'aide de l'analyse des corrélations entre les différentes catégories pour chaque classe, de voir de quelle manière certaines catégories dépendent les unes des autres?

I.2.1.Présence des différentes catégories selon les classes

Pour le premier niveau d'analyse nous nous proposons de montrer, à travers la répartition des différentes catégories, selon les différentes classes, l'importance des représentations, des propriétés et des événements dans les réponses des apprenants.

I.2.1.1.Classes de seconde

Pour toute les classes de la seconde, la répartition des différentes catégories se présente comme suit :

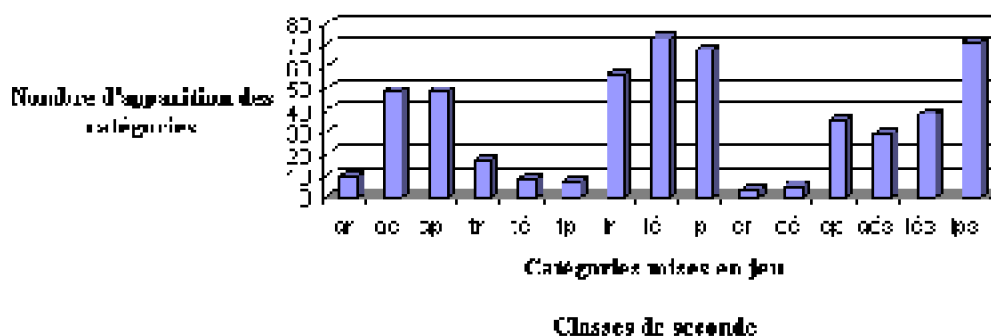


Figure 23 : Catégories mises en jeu pour les classes de seconde

D'après la répartition des différentes catégories, nous pouvons constater qu'au niveau de la seconde, les apprenants mobilisent plus les propriétés et les représentations, alors qu'ils devraient évoquer principalement les événements pour avoir la réponse attendue.

Nous avons aussi constaté que selon les différentes classes de seconde, il y a différentes variétés de propriétés et de représentations évoquées.

Pour la classe de seconde B (Annexes A), il y a une forte présence de la catégorie propriété de la liaison (lp), la catégorie événement est moins mobilisée que celle des propriétés.

Pour la classe de seconde AM3 (Annexes A) il y a aussi une forte présence de la propriété de la liaison (lp) ; nous remarquons aussi une mobilisation importante des événements au niveau de l'atome (aé) et au niveau de la liaison ((lé)

Pour les classes de seconde AR (Annexes A), il y a une forte présence des propriétés et des représentations (lp, lr, ap) alors que les événements sont moins présents.

Conclusion :

D'après la répartition des différentes catégories, nous pouvons constater qu'au niveau de la seconde, les apprenants mobilisent beaucoup plus les propriétés et les représentations que les événements.

I.2.1.2. Classes de première

Pour toutes les classes de première, la répartition des différentes catégories se présente comme suit :

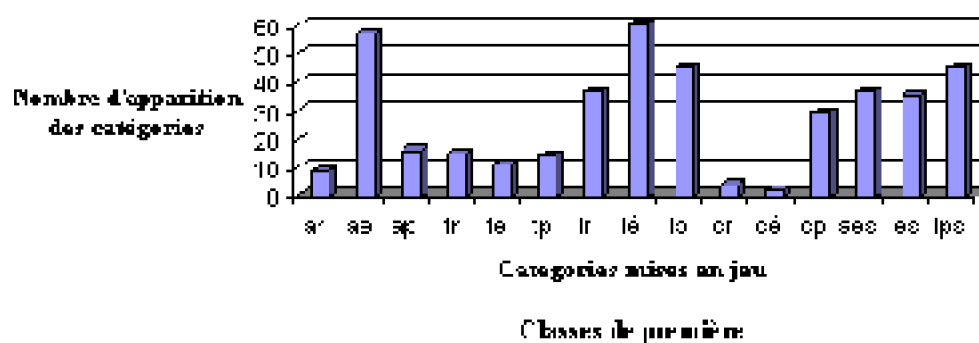


Figure 24 : Catégories mises en jeu pour les classes de première

Pour le niveau scolaire de première, nous constatons qu'il y a une mobilisation importante des catégories événement de l'atome (aé) et événement de la liaison (lé). Nous remarquons que, relativement aux classes de seconde, les classes de première mobilisent plus les événements indispensables pour que la réponse soit correcte. Nous remarquons qu'il y a aussi une mobilisation plus importante des représentations et des propriétés qui sont variées selon les classes. Pour la classe de première AM (Annexes A), nous remarquons que les événements au niveau de la liaison (lé) et au niveau de l'atome (aé) sont fréquemment mobilisés par les apprenants. Aussi nous notons que les propriétés de la liaison (lp) et de la couche (cp) sont souvent utilisées par les apprenants de cette classe.

Pour la classe de première AR (Annexes A) les catégories les plus utilisées sont celles des événements, des propriétés et des représentations de l'atome (ar, aé, ap) et aussi celles des propriétés et des événements relatifs à la liaison (lp, lé).

La représentation de la répartition des catégories pour la classe de première CH (Annexes A) montre que la majorité des réponses relèvent des événements au niveau de l'atome et au niveau de la liaison (aé, lé). Nous remarquons aussi une forte répartition au niveau des représentations de la liaison et de la transformation (lr, tr).

Nous notons aussi que pour la classe de première N (Annexes A), la majorité des réponses se situent au niveau des événements relatifs à l'atome et à la liaison (aé, lé). Il y a en plus une forte présence des représentations de la liaison et de l'atome (ar, lr).

Conclusion

Pour le niveau scolaire de première, nous constatons qu'il y a une mobilisation importante des niveaux événement de l'atome (aé) et événement de la liaison (lé) et qu'il y a aussi une mobilisation des représentations variées selon les classes. Nous remarquons qu'à la différence des classes de seconde, les classes de première mobilisent plus d'événements qui sont indispensables pour que la réponse soit correcte.

1.2.1.3. Classes de SP & SM

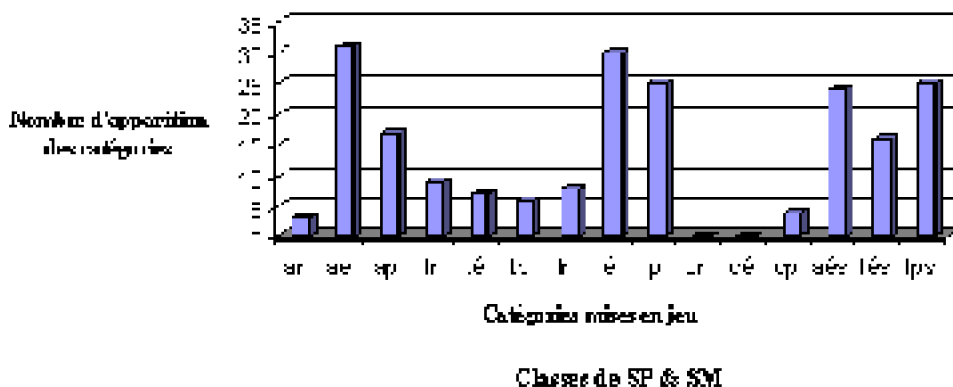


Figure 25 : Catégories mises en jeu pour les classes de SP & SM

Quant aux classes SP & SM, il y a une mobilisation plus importante des évènements : aé, lé par rapport aux classes de première et de seconde. Les propriétés et les représentations sont aussi mobilisées, mais elles sont moins importantes que celles mobilisées au niveau de la première et de la seconde.

I.2.1.4.Conclusion :

Pour les différents niveaux scolaires étudiés, les diagrammes suivants nous donnent une vue d'ensemble sur la répartition des représentations et des propriétés :

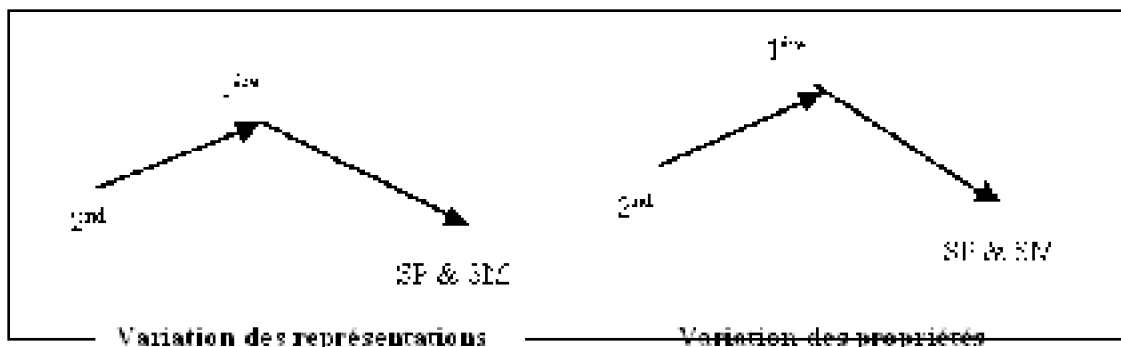


Figure 26 : Variation des représentations et des propriétés selon le niveau scolaire

La répartition des représentations et des propriétés montre qu'elles ne sont pas très utiles.

Bien qu'elles soient fortement utilisées au niveau de la première et au niveau de la seconde, les étudiants de SP & SM les utilisent très peu. Ceci montre que les apprenants ont besoin d'un minimum de représentations et de propriétés pour fournir une réponse. Par contre, les évènements, qui sont indispensables pour fournir une réponse correcte, sont très peu mobilisés par les classes de seconde, un peu plus par les classes de première et beaucoup plus par les classes de SP & SM. Ceci témoigne que les évènements sont probablement difficiles à mobiliser et que leur utilisation s'améliore avec l'âge.

I.2.2.Etude comparative des fréquences des différentes catégories selon les niveaux scolaires

Pour les différentes classes, et pour comparer les différentes catégories mobilisées selon que la réponse soit complète ou non complète, nous avons besoin des fréquences des différentes catégories. Ces fréquences nous permettent de normaliser l'apparition des différentes catégories pour les différentes classes, ce qui nous permet d'effectuer une comparaison rigoureuse.

1.2.2.1. Présentation des tableaux

Réponses complètes :

Tableau 4 : Fréquences des réponses complètes

	ar	aé	ap	tr	té	tp	lr	lé	lp	cr	cé	cp	aés	lés	lps	moy niv	n	N
2 AM 1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0,5	1	1	1	4,5	2	30
2 AM 2	0	1	0,67	0	0,17	0	0,5	1	1	0,33	0,17	0,17	1	1	1	5	6	28
2 AM 3	0	1	0	0	0,5	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	4,5	2	18
2AR 2	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	6	1	21
1AM	0	1	0,38	0	0,25	0,13	0,13	1	1	0	0	0,25	1	1	1	4,13	8	31
1 N	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	3	1	25
SP& SM	0	0,86	0,29	0,5	0,29	0,29	0,57	1	1	0	0	0	1	1	1	4,71	7	42

Réponses non Complètes :

Tableau 5 : Fréquences des réponses non complètes

	ar	aé	ap	tr	té	tp	lr	lé	lp	cr	cé	cp	aés	lés	lps	moy cat	n	N
2 AM 1	0	0,32	0,25	0,18	0,04	0,04	0,46	0,64	0,54	0	0	0,25	0,1	0,3	0,5	2,75	28	30
2 AM 2	0,14	0,36	0,55	0,09	0,05	0	0,54	0,59	0,54	0	0	0,24	0,14	0,32	0,55	3,09	22	28
2 AM 3	0	0,5	0,31	0	0	0,13	0,63	0,69	0,56	0	0	0,06	0,31	0,31	0,56	2,88	16	18
2 AR 1	0,16	0,16	0,37	0,37	0	0,16	0,11	0,37	0,21	0,05	0,05	0	0,11	0	0,32	2	19	19
2 AR 2	0,05	0,35	0,4	0,15	0,15	0,05	0,5	0,4	0,5	0	0	0,65	0,15	0,2	0,55	3,2	20	21
2 B	0,17	0,25	0,25	0	0,08	0	0,42	0,42	0,58	0	0,25	0,33	0,08	0,33	0,58	2,75	12	12
1 CH	0,07	0,43	0,07	0,5	0,14	0,25	0,36	0,39	0,36	0	0	0,04	0,25	0,11	0,36	2,61	28	28
1 AM	0,04	0,7	0,17	0	0,13	0	0,26	0,87	0,35	0,13	0,04	0,48	0,48	0,61	0,35	3,04	23	31
1 N	0,25	0,42	0,04	0	0,08	0,04	0,54	0,5	0,42	0,04	0,04	0,46	0,21	0,17	0,42	2,83	24	25
1 AR	0	0,45	0,27	0,05	0	0,23	0,32	0,36	0,36	0	0	0,18	0,23	0,23	0,36	2,23	22	22
SP& SM	0,09	0,77	0,43	0,23	0,14	0,11	0,11	0,71	0,54	0	0	0,11	0,49	0,31	0,54	3,26	35	40

Nous désignons par :

moy cat : la moyenne de l'apparition des 15 catégories par élève

n : le nombre d'élèves qui ont mobilisé les catégories représentées

N : le nombre d'élèves de la classe correspondante

I.2.2.2. Interprétation des tableaux

I.2.2.2.1. Comparaison entre les réponses complètes

Nous remarquons que parmi 27 réponses complètes, aucune n'évoque la représentation de l'atome (ar), 3 évoquent la représentation de la transformation (tr), 9 la représentation de la liaison (lr) et 2 réponses la représentation de la couche (cr). Ces représentations figurent principalement au niveau des classes de seconde AM (lr et cr). La représentation de la transformation (tr) est fortement présente pour les classes de SP & SM. Ceci pourrait s'expliquer par le fait qu'à ce niveau, les étudiants sont capables de fournir les demi-équations et les équations d'oxydoréduction.

Nous pouvons alors confirmer notre hypothèse que le niveau scolaire influence l'apparition de certains types de catégories

I.2.2.2.2. Comparaison entre les réponses incomplètes

Pour les réponses incomplètes, nous remarquons que les classes de première et les classes de SP & SM se distinguent des classes de seconde par une présence plus importante des niveaux de aé et lé (aé : événement au niveau de l'atome ; lé : événement au niveau de la liaison). Ceci peut s'expliquer par les contenus des programmes plus riches qui permettent aux apprenants d'accéder au niveau des événements relatifs à l'atome et à la liaison chimique. Nous remarquons alors que les niveaux événements relatifs à l'atome et à la liaison sont évoqués mais ne sont pas des événements spéciaux (aés) et (lés) indispensables pour qu'une réponse soit complète.

Quant aux représentations (tr et lr), nous remarquons qu'elles sont fréquentes pour plusieurs classes et pour différents niveaux scolaires. Ceci nous amène à constater que, pour les réponses non complètes, les élèves de différents niveaux scolaires, ne font que représenter la transformation et la liaison chimique mais ils sont incapables d'expliquer les phénomènes chimiques relatifs à ces concepts.

Pour les différents niveaux d'enseignement nous avons repéré de tel type de réponse :

SP&SM (copie 56) :



1

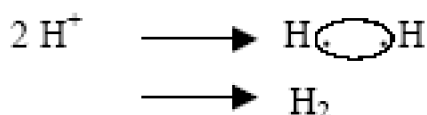
0

no ↘ réduction : gain d'électrons

La liaison covalente se fait à partir d'une réaction d'oxydoréduction

Première N (copie 25) :

pour les ions célibataires libres : H⁺



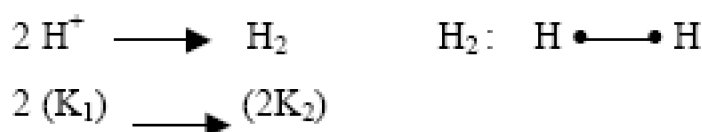
Première N (copie 17) :

représentation de Lewis par $\text{H}^+ : \text{H} \cdot$

Lors de la réaction chimique, on obtient H_2 c'est à dire $\text{H} \cdot$ et $\text{H} \cdot$ liés entre eux

H-H

Seconde B (copie 3) :



L'usage intensif des représentations a été abordé par Harisson et Treagust (1998) qui ont établi une typologie des modèles selon laquelle il y a des modèles iconiques et symboliques. Selon ces auteurs, les formules chimiques et les équations sont des modèles symboliques des réactions chimiques qui sont fréquemment mobilisés par les élèves.

Sutton, (1992) a confirmé aussi que les formules et les équations sont très implantées dans le langage chimique de manière que les étudiants prennent ces modèles explicatifs pour une réalité. De ce fait les formules et les équations deviennent pour les étudiants les seuls modèles explicatifs.

Dans un autre travail, Harrison et Treagust (2000a) ont mené une étude qualitative sur des élèves du secondaire, concernant les expériences de modélisation, le développement intellectuel, et le statut conceptuel lors d'apprentissages à propos des atomes, des molécules, et des liaisons chimiques. Ils ont alors montré que les enseignants introduisent les symboles, les formules et les équations comme des représentations analogiques, mais la plupart du temps ils les utilisent comme des représentations métaphoriques. Ceci entraîne, au niveau des élèves, une prédominance des représentations, ce qui inhibe la compréhension des concepts chimiques visées.

1.2.2.3. Comparaison entre les réponses complètes et les réponses incomplètes

D'après le tableau nous remarquons que la fréquence des 15 catégories (ar...lps) est plus importante au niveau des réponses complètes qu'au niveau des réponses non complètes. Ceci veut dire que les apprenants, fournissant une réponse complète, mobilisent plus de niveaux et de concepts que les apprenants fournissant des réponses non complètes.

La représentation de la transformation (tr), dans les copies présentant des réponses complètes, n'est présente que pour la classe de SP & SM; au niveau de cette classe la

représentation de la transformation se traduit par la représentation des demi-équations de réaction explicitant le transfert électronique.

Pour les réponses non complètes, la représentation de la transformation est présente principalement pour la classe de première CH; ceci s'explique par le fait qu'en première, ces notions d'oxydoréduction ont été déjà introduites. On trouve alors les demi-équations redox .

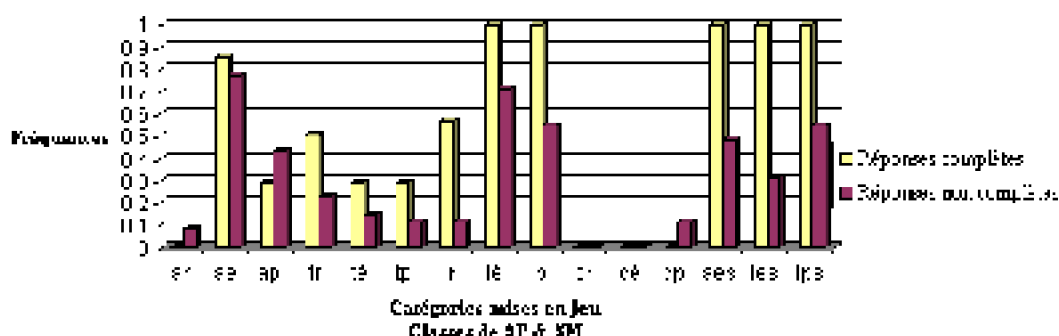


Figure 27 : Fréquence des réponses complètes et des réponses non complètes pour les classes de SP & SM

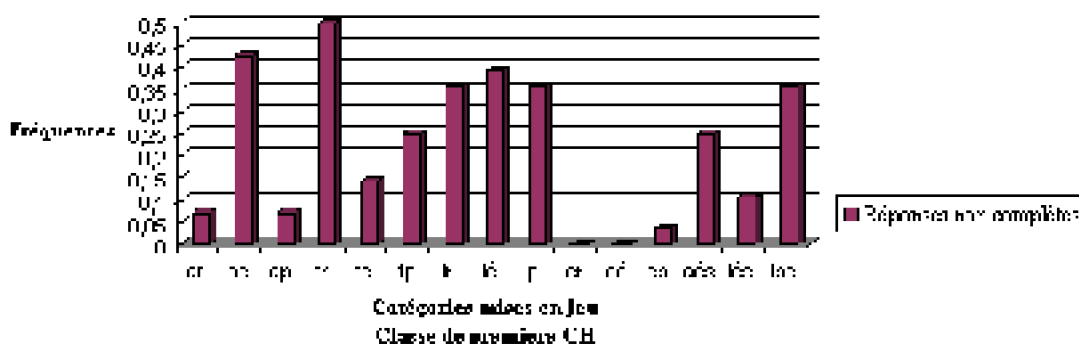


Figure 28 : Fréquence des réponses non complètes pour la classes de première CH

Pour les classes de seconde, la présence de la représentation de la transformation (tr) est moins importante puisqu'au niveau de la seconde, les demi-équations ne font pas partie du programme.

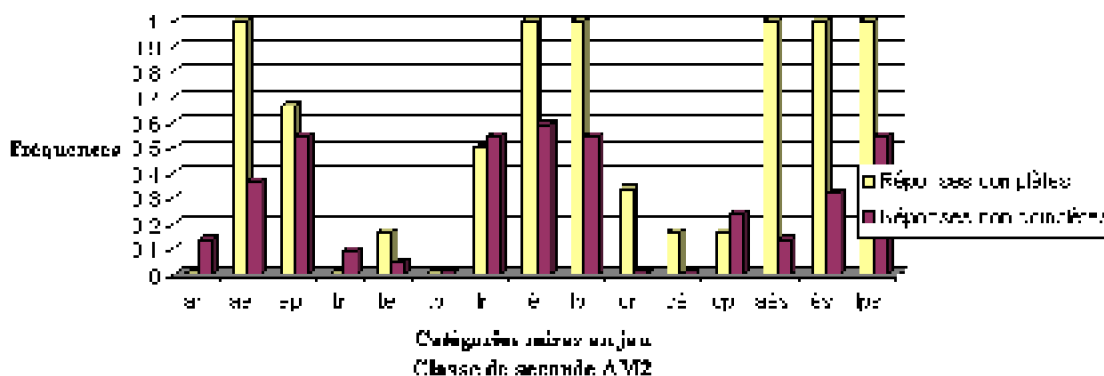


Figure 29 : Fréquence des réponses complètes et des réponses non complètes pour la classe de seconde AM2

Pour répondre à la question posée, les élèves font naturellement référence à l'équation de la réaction qui est catégorisée (tr) et ceci en l'expliquant par exemple par : *“ Dans la réaction, dans les réactifs, on a deux atomes de lithium et deux ions d'hydrogène, et dans les produits on a deux atomes de lithium et 1 atome de dihydrogène... ”* (copie 2, classe de seconde AM1)

“On a rajouté le “ 2 ” devant le H des réactifs car avant l'équation n'était pas équilibrée ” (copie 19, classe de seconde AR1).

Nous avons constaté que les événements mobilisés dans les réponses non complètes sont moins fréquents que ceux mobilisés dans les réponses complètes.

L'analyse des réponses non complètes montre que les événements sont principalement le gain, la perte des électrons, l'association des atomes et beaucoup moins le transfert et la mise en commun des électrons. Nous pouvons alors constater qu'au niveau des réponses non complètes, même quand il y a des événements dans les réponses des élèves, c'est plutôt l'articulation entre ces événements qui manque. Les élèves, par exemple, ne mettent pas en relation la perte et le gain d'électrons pour arriver au transfert d'électrons. Nous trouvons alors de tel type de réponses :

« Les 2 atomes de H avant la réaction se lient avec 1 liaison après (H-H) pour former la molécule H₂ »(Seconde AM3, copie 13) « L'ion d'hydrogène à capté 1é, il devient donc un atome H»(Première AR2, copie 20) « 2 é se libèrent en pénétrant dans l'orbitale fondamentale de l'hydrogène et ceci permet de constituer la liaison covalente de H₂ » (SP & SM, copie 53)

Conclusion :

Les réponses incomplètes présentent fréquemment des niveaux de représentation et beaucoup moins des niveaux d'événement que les réponses complètes. En effet les élèves fournissant des réponses non complètes, ne font que représenter les transformations chimiques, c'est à dire donner les équations ; ils représentent aussi schématiquement les liaisons et les atomes, mais donnent rarement des explications des phénomènes chimiques et des événements qui régissent la formation de la liaison covalente.

Faisant l'hypothèse que tous les élèves pensent avoir fourni une réponse complète, nous nous intéresserons à ce qui manque dans les réponses non complètes.

La question qui se pose alors est par quelles catégories les élèves compensent-ils et remplacent-ils les événements indispensables?

I.2.3. Etude des Tableaux de corrélations entre les différentes catégories mises en jeu.

Pour vérifier s'il y a une dépendance entre les différentes catégories (ar,..., lps) mobilisées par les apprenants pour fournir une réponse à la question posée, c'est-à-dire pour voir si la mobilisation d'une catégorie par l'apprenant pourrait favoriser l'apparition d'une ou de plusieurs autres catégories, nous avons effectué une étude de corrélation. Cette étude pourra aussi nous montrer si l'apparition d'une certaine catégorie défavoriserait l'apparition d'autres catégories.

I.2.3.1. Etude des corrélations entre les différentes catégories mises en jeu pour les secondes

D'après le tableau des valeurs significatives du coefficient de corrélation de Bravais-Pearson, et suivant le nombre d'élèves correspondant à toutes les classes de seconde (128 élèves) les valeurs significatives du coefficient de corrélation à un seuil de probabilité de 0.05 sont supérieures à 0.19 (Ehrlich, S., Flament, C. 1970)

Tableau 6 : Corrélation entre les différentes catégories pour les classes de seconde

	ar	aé	ap	tr	té	tp	lr	lé	lp	cr	cé	cp	aés	lés	lps
ar		-0,13	0,05	0,15	0,08	0,06	-0,06	-0,05	-0,09	-0,03	0,12	-0,02	-0,03	-0,01	-0,10
aé			-0,21	0,02	0,25	0,06	-0,18	-0,01	-0,24	0,13	-0,03	-0,07	0,56	-0,12	-0,24
ap				-0,01	-0,09	0,11	0,08	0,06	0,09	0,12	-0,04	0,13	-0,07	0,10	0,16
tr					0,01	0,00	-0,27	-0,29	-0,26	-0,04	-0,08	-0,13	-0,11	-0,23	-0,23
té						0,10	0,03	-0,01	0,01	-0,02	-0,04	0,13	0,12	0,06	-0,01
tp							-0,23	-0,12	-0,25	-0,02	-0,05	0,02	0,09	-0,05	-0,26
lr								0,19	0,23	-0,08	-0,07	0,11	-0,10	0,29	0,25
lé									0,30	0,09	0,18	0,12	0,02	0,39	0,35
lp										-0,09	0,10	0,21	-0,08	0,24	0,88
cr											0,49	-0,05	0,22	-0,05	-0,10
cé												0,10	0,05	0,01	0,09
cp													0,02	0,05	0,22
aés														-0,12	-0,06
lés															0,21
lps															

Au niveau de toutes les classes de seconde, les corrélations montrent que les événements au niveau de l'atome (aé) sont intimement liés aux événements au niveau de la transformation (té) (le coefficient de corrélation est de 0,25), alors qu'ils présentent une corrélation négative avec les propriétés de l'atome (ap) (le coefficient de corrélation est de -0,21) et les propriétés de la liaison (lp) (le coefficient de corrélation est de -0,24). Ceci montre que les élèves remplacent les événements au niveau de l'atome par des propriétés de l'atome ou de la liaison.

Les événements au niveau de la liaison (lé) sont corrélés négativement avec les représentations de la transformation (tr) (le coefficient de corrélation est de -0,29), c'est-à-dire l'élève évoque soit un événement au niveau de la liaison, soit une représentation de la transformation. Il y a aussi une corrélation maximale entre l'événement au niveau de la couche (cé) et la représentation de la couche (cr) (le coefficient de corrélation est de 0,49), ce qui nous permet de constater que lorsque les apprenants évoquent les événements au niveaux de la couche, ils les associent à des représentations.

Au niveau des différentes classes de seconde, nous avons aussi étudié les corrélations qui sont variées selon les classes.

Au niveau de la classe de AM3, les élèves ne parviennent pas à mobiliser (tr), (cr), (cé), (ar). On remarque aussi une corrélation négative entre (aé) et (lr), (lp) c'est à dire quand les élèves ne peuvent pas mobiliser (aé), ils construisent leurs réponses autour de (lr) et (lp), donc, quand les élèves ne maîtrisent pas les évènements, ils les remplacent par des représentation et des propriétés.

Pour les classes de seconde AR, il y a une forte corrélation entre la représentation de l'atome (ar) et la représentation de la transformation (tr). Mais il y a une corrélation négative entre la représentation de la transformation (tr) et la propriété de la liaison (lp), c'est-à-dire l'élève évoque soit la propriété de la liaison soit la représentation de la transformation. Ceci nous mène à constater que la représentation de la transformation est au centre de l'activité de l'élève, puisqu'elle favorise certaines représentations de type (ar) et elle défavorisent le recours à des propriétés de type (lp).

La catégorie (cp) est très importante pour cette classe, car elle favorise l'apparition des catégories (aé), (té) et (lr). Aussi il y a une corrélation maximale entre l'évènement au niveau de la couche (cé) et la représentation de la couche (cr).

Nous pouvons alors affirmer que, pour cette classe, le concept couche avec ses différents niveaux favorise l'apparition de différents liens et particulièrement avec (aés), (lés).

Au niveau de la classe de seconde B, les corrélations montrent que les évènements au niveau de la liaison (lé) présentent une forte corrélation avec (lp) et (cé), donc les évènements au niveau de la liaison sont associés aux propriétés de cette liaison et aussi aux évènements des couches.

En conclusion

Nous pouvons constater que généralement pour les classes de seconde, il y a une forte mobilisation des différentes représentations et des différentes propriétés qui remplacent souvent des évènements au niveau de l'atome et au niveau de la liaison et qui sont indispensables pour que la réponse soit complète. Pour la classe de seconde AM3 l'évènement au niveau de l'atome (aé) présente une corrélation négative de valeur $-0,44$ avec les propriétés au niveau de l'atome (ap) et aussi une corrélation négative de valeur $-0,58$ avec les représentations de la liaison (lr).

Nous avons noté une probable dépendance des résultats avec la forme d'enseignement car les résultats dépendent de la classe. Nous avons aussi remarqué que la mobilisation d'un évènement peut aussi favoriser l'apparition d'un autre évènement ; au niveau de la classe de seconde B l'évènement au niveau de la liaison (lé) présente une corrélation de valeur $0,68$ avec l'évènement au niveau de la couche (cé).

1.2.3.2. Etude des corrélations entre les différentes catégories mises en jeu pour les premières.

D'après le tableau des valeurs significatives du coefficient de corrélation de Bravais-Pearson, et suivant le nombre d'élèves correspondant à toutes les classes de première (106 élèves) les valeurs significatives du coefficient de corrélation à un seuil de probabilité de 0.05 sont supérieures à 0.19 (Ehrlich, S., Flament, C. 1970)

Tableau 7 : Corrélation entre les différentes catégories pour les classes de première

	ar	aé	ap	tr	té	tp	lr	lé	lp	cr	cé	cp	aés	lés	lps
ar		0,19	-0,02	-0,04	0,26	-0,13	0,13	0,02	-0,10	-0,07	0,20	0,12	0,12	0,13	-0,10
aé			-0,14	0,04	0,19	-0,08	-0,22	0,27	-0,16	0,11	0,15	0,13	0,64	0,23	-0,16
ap				-0,17	-0,13	-0,16	-0,11	0,14	0,26	0,07	-0,06	0,02	-0,18	0,11	0,26
tr					0,26	0,08	-0,21	-0,22	-0,10	-0,09	-0,06	-0,21	0,05	-0,12	-0,10
té						-0,13	-0,10	-0,05	-0,18	-0,07	-0,05	0,12	0,04	0,13	-0,18
tp							-0,24	-0,11	-0,06	-0,08	-0,06	-0,18	-0,04	-0,17	-0,06
lr								-0,14	0,08	-0,05	0,04	0,01	-0,23	-0,15	0,08
lé									0,23	0,10	0,14	0,23	0,18	0,52	0,23
lp										-0,16	-0,11	0,09	-0,15	0,03	1,00
cr											-0,03	0,22	0,10	0,23	-0,16
cé												-0,09	0,07	0,25	-0,11
cp													0,12	0,42	0,09
aés														0,05	-0,15
lés															0,03
lps															

Concernant les classes de 1^{ère}, les corrélations les plus importantes montrent que différents évènements sont corrélés positivement. En effet, il y a une corrélation positive entre les évènements au niveau de l'atome (aé) et les évènements au niveau de la transformation (té), de même entre les évènements au niveau de l'atome (aé) et les évènements au niveau de la liaison (lé). Ceci signifie que l'évocation d'un événement favorise la mobilisation d'autres évènements.

L'événement au niveau de la liaison (lé) présente une corrélation négative avec la représentation de la transformation (tr), et une corrélation positive avec les propriétés de la liaison et de la couche (lp) et (cp).

Au niveau des différentes classes de première, nous avons aussi étudié les corrélations qui sont variées selon les classes.

Pour la classe de première AM, nous remarquons que les évènements au niveau de la transformation (té) sont reliés aux représentations des atomes des molécules et des ions (ar). Ceci s'explique par le fait que l'élève qui évoque un événement au niveau de la transformation l'explique souvent moyennant des représentations de l'atome.

Au niveau de la classe de première AR nous notons une forte corrélation entre les propriétés de la liaison (lp) et de l'atome (ap). Quant aux propriétés des couches (cp), elles présentent une forte corrélation avec les évènements au niveau de l'atome (aé) et les représentations de la transformation (tr). Nous notons pour cette classe une influence importante des propriétés sur la mobilisation des autres niveaux

Concernant la classe de 1^{ère} CH, les corrélations les plus importantes montrent que les évènements au niveau de la transformation (té) sont liés aux représentations de la transformation (tr). On note la présence de corrélations négatives entre les représentations de la liaison (lr) et les représentations de la transformation (tr); aussi (lr)

est corrélée négativement avec la propriété de la transformation (tp).

Pour la classe de première N, nous notons une forte corrélation entre les événements au niveau de la transformation (té) et les représentations de l'atome (ar).

Nous repérons aussi une corrélation forte entre les événements spéciaux au niveau de l'atome (aés) et les événements au niveau de la liaison (lé), de même entre les événements spéciaux au niveau de la liaison (lés) et les événements au niveau de l'atome (aé).

En conclusion

Nous pouvons constater que généralement pour les classes de première, il y a une forte mobilisation des différentes représentations et des différentes propriétés selon les classes. Par rapport aux classes de seconde, il y a aussi une forte mobilisation des événements au niveau de l'atome et au niveau de la liaison qui sont indispensables pour que la réponse soit complète. L'étude des corrélations nous a permis de constater que les événements sont souvent mis en relation avec des représentations (tr et ar). Pour la classe de première N, par exemple, la corrélation entre les événements au niveau de la transformation (té) et les représentations de l'atome (ar) est d'une valeur de 0,52. Ceci pourrait expliquer que, dans la plupart des cas bien que les événements soient évoqués, la réponse n'est pas nécessairement complète, car il y a une prédominance des représentations qui empêchent la compréhension des concepts chimiques visés.

Nous remarquons aussi, d'après l'étude des corrélations, que la mobilisation d'un événement peut aussi favoriser l'apparition d'un autre événement ; la mobilisation d'un événement au niveau de l'atome peut faciliter l'apparition d'un événement au niveau de la liaison ou au niveau de la transformation.

1.2.3.3. Etude des corrélations entre les différentes catégories mises en jeu pour les SP & SM

D'après le tableau des valeurs significatives du coefficient de corrélation de Bravais-Pearson, et suivant le nombre d'élèves correspondant à toutes les classes de SP & SM (40 élèves) les valeurs significatives du coefficient de corrélation à un seuil de probabilité de 0.05 sont supérieures à 0.32 (Ehrlich, S., Flament, C. 1970)

Tableau 8 : Corrélation entre les différentes catégories pour les classes de SP & SM

PARTIE C : Analyse des données recueillies à propos des concepts fondamentaux et des notions fondatrices relatifs à la liaison chimique

	ar	aé	ap	tr	té	tp	lr	lé	lp	cr	cé	cp	aés	lés	lps
ar		-0,07	-0,24	0,07	0,12	-0,12	0,09	-0,27	-0,17	*	*	0,22	-0,15	-0,04	-0,17
aé			-0,14	-0,13	0,09	0,23	-0,03	0,24	0,08	*	*	-0,02	0,54	-0,17	0,08
ap				-0,09	0,14	-0,08	0,08	-0,20	-0,07	*	*	0,22	-0,33	-0,08	-0,07
tr					0,10	0,15	0,22	0,04	0,06	*	*	0,02	0,21	0,07	0,06
té						0,36	0,26	-0,34	-0,19	*	*	-0,15	0,11	0,03	-0,19
tp							0,14	0,08	0,04	*	*	-0,14	0,06	0,09	0,04
lr								-0,14	0,13	*	*	0,04	0,28	0,10	0,13
lé									0,39	*	*	0,00	0,12	0,47	0,39
lp										*	*	-0,09	0,11	0,00	1,00
cr											*	*	*	*	*
cé											*	*	*	*	*
cp													-0,24	0,24	-0,09
aés														-0,06	0,11
lés															0,00
lps															

(*) niveau non mis en jeu pas les élèves.

Les classes de SP & SM ne mobilisent pas les catégories (cr), (cé) et présentent des corrélations négatives entre les événements au niveau de la transformation (té) et l'événement de mise en commun d'électrons au niveau de la liaison (lé) ; ce qui nous mène à déduire que les étudiants traitent soit les événements au niveau de la transformation soit les événements au niveau de la liaison.

Nous remarquons aussi que les événements au niveau de la liaison (lé) sont corrélés positivement aux propriétés de cette liaison (lp). Quant à la transformation les événements (té) et les propriétés (tp) sont intimement liés.

Nous notons pour cette classe une influence importante des propriétés sur la mobilisation des autres niveaux

Conclusion

L'étude des corrélations nous a montré que l'usage intensif des représentations vient souvent compenser l'absence des événements qui sont indispensables pour donner un sens aux concepts chimiques en questions.

C'est-à-dire, quand les élèves ne peuvent pas mobiliser des événements au niveau de l'atome ou au niveau de la liaison, ils construisent alors leurs réponses autour des représentations et aussi autour des propriétés.

Comme l'illustre la réponse suivante :

« On peut remarquer qu'il y a un + qui a changé de molécule. Donc la molécule H2 a gagné 1 électron et 2 Li en a perdu un » (Seconde AM1, Copie 9)

Nous pouvons alors conclure que quand les élèves ne maîtrisent pas les événements, ils les remplacent par des représentations et des propriétés de l'atome, de la transformation et de la liaison chimiques.

I.2.4. Conclusion sur les trois niveaux d'analyse :

Pour le premier niveau d'analyse qui est global et permettant de donner une idée sur la présence des différentes catégories selon les différentes classes, nous avons constaté une importante mobilisation des représentations et des propriétés pour les classes de première et un peu moins pour les classes de seconde. Quant aux classes SP & SM, les représentations et les propriétés sont moins importantes, alors que les événements (aé, lé) sont plus présents qu'au niveau de la première et de la seconde.

Le second niveau d'analyse, qui permet de faire la comparaison entre les réponses complètes et les réponses non complètes, montre que ces dernières présentent fréquemment des niveaux de représentation et beaucoup moins des niveaux d'événement que les réponses complètes. Ceci témoigne que les élèves qui fournissent des réponses non complètes, ne font que représenter les transformations chimiques, c'est-à-dire donner les équations ; ils représentent aussi schématiquement les liaisons et les atomes, mais donnent rarement des explications des phénomènes chimiques et des événements qui régissent la formation de la liaison covalente.

Le troisième niveau d'analyse, qui se base sur l'étude des corrélations entre les différentes catégories pour chaque classe, nous permet de constater que les événements sont souvent remplacés par des représentations. Dans le cas où les corrélations entre les événements et les représentations sont négatives, les apprenants remplacent les événements par des représentations. Nous pouvons alors conclure que quand les élèves ne peuvent pas mobiliser des événements, ils construisent alors leurs réponses autour des représentations et aussi autour des propriétés.

II. Résultats et interprétation des entretiens d'explicitation

D'après l'analyse des réponses des élèves relatives à la tâche papier-crayon, nous avons constaté que ces réponses se réfèrent principalement aux représentations et à un jeu de symboles tels que l'équilibrage de l'équation de réaction et le transfert de charges positives. Nous avons alors décidé d'avoir des entretiens d'explicitation (Vermersch, 1991) avec 4 élèves qui présentent ce type de réponses afin de recueillir des informations sur leur démarches et de compléter nos données de recherche.

II.1. Tableau d'analyse des entretiens d'explicitation

L'analyse des entretiens d'explicitation avec ces quatre élèves est faite en se référant à la même grille utilisée pour l'analyse des réponses des élèves à la tâche papier-crayon.

Les résultats d'analyse se présentent comme suit :

Tableau 9 : Analyse des entretiens d'explicitation

en vertu de la loi du droit d'auteur.

	représentation symbolique et iconique	évènement	propriété
atome, ion, molécule	10 (ar)	14 (aé)	15 (ap)
transformation chimique	12 (tr)	1 (té)	0 (tp)
liaison chimique	3 (lr)	5 (lé)	0 (lp)
couche électronique	11 (cr)	1 (cé)	6 (cp)
Nombre de propositions analysées	36	21	21

II.2. Interprétation du tableau d'analyse des entretiens d'explicitation

On constate qu'en expliquant sa démarche, l'élève mobilise principalement les représentations (36 sur 78). L'élève fait fonctionner ses connaissances non pas essentiellement sur les évènements (21 sur 78) mais sur leurs représentations symboliques et iconiques et sur leurs propriétés (57 sur 78), essentiellement sur les schémas, et cela, que leurs réponses soient correctes ou non au regard du savoir enseigné. L'élève présente alors ce type d'explication sur la démarche qu'il a adopté

« là il y en a + et il est (:::) il est passé sur le lithium.... La charge de l'hydrogène elle est passée au lithium et l'hydrogène il en a plus »

III. Conclusion Générale et implications pour l'enseignement

En adoptant le modèle théorique présenté ci-dessus, nous avons pu décrire l'activité cognitive de l'élève en termes de représentations, d'évènements et de propriétés.

L'interprétation des résultats informe sur le fonctionnement cognitif de l'élève face à la tâche proposée. En effet, la chimie est une discipline qui permet d'interpréter des transformations chimiques au moyen de concepts fondamentaux comme la liaison chimique et la façon dont elle se forme ou se modifie.

Ces concepts semblent ne pas être manipulés pour eux-mêmes à partir de leur définition ou de leurs propriétés. Ce que les élèves manipulent, ce sont principalement les représentations symboliques de ces concepts, en utilisant des règles propres à ces symboles, même si elles n'ont pas été enseignées.

Ce fonctionnement du savoir ne permet pas d'aboutir aux conclusions en principe

attendues par l'enseignant et s'écarte du sens profond que porte le concept de réaction chimique. La réaction chimique ne semble donc pas, pour les élèves, être considérée comme une réorganisation d'objets (atomes, électrons) mais résulte d'une manipulation de symboles.

Il est intéressant de comparer ce fonctionnement d'élèves débutants à celui de chimistes confirmés, doctorants ou chercheurs professionnels en chimie de synthèse. Les pratiques professionnelles de ces experts passent par les représentations symboliques. Il semble même exclu que ces personnes communiquent sans disposer d'un support (papier, tableau...) sur lequel il est possible d'inscrire les représentations des formules ou des réactions chimiques impliquées dans la discussion. La chimie, à ce niveau élevé, semble donc se communiquer par un jeu de symboles muni de règles de fonctionnement et de transformation. Le fait que la réaction chimique ne puisse se penser qu'en termes symboliques, ne semble donc pas être l'apanage du spécialiste puisque, au tout début de l'apprentissage, c'est également le moyen utilisé par les élèves alors même que ce moyen n'est pas opératoire.

Par l'étude et l'analyse de la manière avec laquelle l'apprenant approche les concepts fondamentaux (atome, ion, molécule, transformation chimique, liaison chimique et couche électronique) nous avons constaté que les notions fondatrices autour desquelles les apprenants de différents niveaux construisent leurs réponses, sont un jeu de symboles et un formalisme dénué du sens profond de la réaction chimique.

L'étude des corrélations nous a montré que l'usage intensif des représentations vient en fait compenser l'absence des événements qui sont indispensables pour donner un sens à tout phénomène et concept chimique.

De ce fait l'apprenant ne parvient pas à approcher correctement les concepts chimiques, car le symbolisme et le formalisme ne lui permet pas de fonder une réponse complète. Cela a été confirmé par les entretiens d'explicitation qui ont montré que pour certains élèves le transfert d'électrons est remplacé par un transfert de charges positives et que l'équilibrage des équations chimiques est le centre d'intérêt de l'apprenant.

Manquant de compréhension profonde des concepts de chimie, les élèves sont incapables de percevoir la relation entre les différents concepts et leurs aspects quantitatifs (Gabel & Bunce, 1994) ; ce qui les empêche de trouver la bonne solution à ces problèmes. Pour obtenir la « solution correcte » les apprenants tendent à adapter une variété d'algorithmes techniques, plutôt que de résoudre le problème utilisant des concepts scientifiques.

En investiguant la relation entre la résolution de problème et la compréhension des concepts chimiques, Nakhleh et Mitchell (1993) ont trouvé que l'enseignement conventionnel focalise sur « comment avoir la réponse correcte » et non sur la compréhension de la chimie elle-même. Les enseignants préfèrent souvent les méthodes standard d'enseignement qui fournissent une formule numérique plutôt que les instructions qui demandent l'usage du raisonnement et du jugement.

Les résultats de notre recherche et des travaux cités montrent que les représentations et le formalisme peuvent inhiber la compréhension des concepts chimiques.

Comme implication pour l'enseignement nous avançons les propositions suivantes :

les enseignants devraient régulièrement vérifier la compréhension des concepts chimiques par leurs élèves avant d'introduire de nouveaux concepts.

les enseignants devraient aider les étudiants à maîtriser les méthodes qui les aident à convertir un symbole en une information et en un sens qui le traduit.

les enseignants ne devraient pas utiliser les symboles, les formules et les équations comme des représentations métaphoriques.

les enseignants devraient poser fréquemment des questions permettant, aux apprenants, de percevoir la relation entre les différents concepts et leurs aspects qualitatifs.

Partie D : Analyse des données recueillies à propos de l'usage, par les étudiants, des modèles de prédiction de l'évolution d'un système oxydoréducteur

Introduction

Nous nous proposons dans ce chapitre d'étudier les modèles et les systèmes explicatifs des étudiants quand il s'agit de prédire l'évolution d'un système oxydoréducteur.

Plusieurs auteurs se sont penchés sur l'étude des modèles (Harisson & Treagust, 2001 ; Coll & Treagust, 2003) . Harisson & Treagust ont parlé de modèles analogiques dans le cas des molécules, des atomes et des liaisons chimiques pour des élèves du secondaire. Leur recherche a été focalisée sur la manière avec laquelle les élèves interprètent et utilisent les différents modèles analogiques des atomes, des molécules et des liaisons chimiques. Ils se sont aussi intéressés à l'apport de l'usage des modèles analogiques et d'autres différents modèles, systématiquement présentés aux élèves, à la compréhension des concepts et au développement intellectuel .

Coll & Treagust (2003) se sont principalement intéressés aux modèles d'enseignement et les ont décrits comme étant des modèles spécialement construits pour être utilisés par les enseignants afin de faciliter la compréhension des modèles scientifiques. Ces auteurs ont souligné que depuis que les modèles d'enseignement sont conçus pour être appropriés au niveau de compréhension des apprenants, ils sont souvent moins sophistiqués que les modèles scientifiques mais ils jouent un rôle similaire et ont les mêmes caractéristiques.

Les deux fonctions principales des modèles sont leurs rôles descriptif et prédictif, le rôle descriptif étant plus observable que le rôle prédictif. Un modèle descriptif permet de montrer comment une entité apparaît, à quelle autre entité elle ressemble et il permet aussi de montrer comment l'entité se comporte. Tandis qu'un modèle prédictif est utilisé pour effectuer et tester une prédiction, pour résoudre des problèmes intellectuels et aussi pour tester des idées.

L'objectif de Coll & Treagust est d'explorer l'usage que font les étudiants des modèles et particulièrement l'usage de différents modèles d'enseignement de la chimie organique ; ce qui peut mener à une application plus large.

En nous référant à Coll & Treagust (2003) et à Harisson & Treagust (1998) qui parlent de modèle d'enseignement, nous nous intéressons au modèle de Nernst, que nous allons considérer comme un modèle prédictif et mathématique, alors que le modèle des potentiels de référence comme un modèle typique d'enseignement.

En effet le modèle des potentiels de référence est conçu pour être enseigné au niveau du lycée et ne peut être appliqué que dans des conditions bien précises.

La simplicité du modèle des potentiels de référence a fait que les apprenants l'appliquent d'une manière abusive, en dehors de son domaine de validité. Alors que le modèle de Nernst qui permet la prédiction de l'évolution d'un système oxydoréducteur, se trouve constamment substitué par le modèle des potentiels de référence qui ne permet pas de faire la bonne prédiction.

Nous rappelons que dans le cadre de la prévision de l'évolution d'un système oxydoréducteur, nous avons construit un questionnaire et trois situations expérimentales.

Le questionnaire a été construit dans l'objectif de chercher les modèles mobilisés par les apprenants lorsqu'il s'agit de prévoir l'évolution d'un système chimique. Il a été construit dans l'objectif de retrouver des traces de l'enseignement du modèle de Nernst et aussi de se donner une idée sur les différents autres modèles que peuvent mobiliser les apprenants quand il s'agit de prévoir l'évolution d'un système chimique.

L'objectif de l'analyse des copies des étudiants est de répondre aux questions suivantes :

Est ce que les étudiants ont eu un enseignement du modèle de Nernst ?

Quels sont les modèles que mobilisent les étudiants pour prévoir l'évolution d'un système oxydoréducteur ?

Les situations expérimentales ont été construites d'une manière analogue au questionnaire afin de confronter une prédiction, concernant l'évolution d'un système

oxydoréducteur, à une observation. Cette confrontation se passe, selon les situations, soit dans le cas d'inversion d'une réaction chimique (situation A1), soit dans le cas d'évolution du système chimique dans le sens contraire de la prévision avec le modèle des potentiels de référence (situation A2), ou bien dans le cas d'évolution du système chimique suite à une perturbation apportée à ce système (situation B).

Concernant l'usage de la confrontation et des conflits, et examinant les principaux types de stratégies pour l'enseignement des sciences, Scott, Asoko, et Driver (1991) ont indiqué que le conflit cognitif est largement utilisé dans l'objectif de promouvoir l'apprentissage des concepts scientifiques. Stavy et Berkovitz (1980) ont identifié l'usage de deux types de conflits :

- le conflit entre les conceptions des étudiants et le fait ou l'événement,
- le conflit entre deux différentes structures cognitives concernant le même événement.

Pour les situations qui nous intéressent, ces deux types de conflits se trouvent simultanés; en effet le milieu est rétroactif à travers les événements qu'il fournit, il renvoie l'apprenant à revoir ses conceptions quand la rétroaction est négative. Les événements, en désaccord avec la prédiction de l'apprenant, contribuent à créer un conflit entre ses différentes structures cognitives et à faire évoluer ces conceptions.

Aussi l'objectif de ces situations, c'est d'amener l'étudiant à revoir son modèle prédictif qui est dans la plupart du temps le modèle des potentiels de référence. Quand la prédiction n'est pas bonne, c'est alors que peut surgir le conflit entre le modèle des potentiels de référence et le modèle de Nernst.

Pour toutes ces situations expérimentales nous nous attendons à ce que les apprenants prennent en compte des objets et des événements perceptibles qu'ils traduisent en objets reconstruits. Pour que ces apprenants interprètent l'observation à l'aide d'une réaction, ils doivent mobiliser un modèle. Selon le modèle appliqué les apprenants font appels à différents niveaux et peuvent établir différentes relations entre ces niveaux.

A travers l'étude des niveaux mobilisés par les apprenants, des liens qu'ils font entre ces différents niveaux et des stratégies qu'ils adoptent, nous nous proposons de voir ce qui incite ces apprenants à choisir entre un modèle et un autre lors de la prédiction de l'évolution d'un système oxydoréducteur.

Donc l'objectif de notre analyse est de répondre aux questions :

Quelles connaissances (modèles, systèmes explicatifs, notions diverses...) les apprenants mettent-ils en jeu quand ils rencontrent une réaction chimique dans le sens contraire par rapport à ce qu'ils ont prévu ?

Quelles sont les conditions qui favorisent l'apparition d'un modèle ou d'un autre ?

Est-ce que les connaissances de base telles que la concentration sont-elles utilisées pour interpréter l'évolution d'un système chimique?

Pour répondre à ces questions, l'analyse des situations expérimentales a été

conduite d'après la transcription de dialogues. Nous avons transcrit quatre dialogues ; la transcription de ces dialogues est donnée en annexes (Annexes C). Ces dialogues ont été analysés en faisant référence au modèle des deux mondes. Nous considérerons au cours de l'analyse des différentes situations expérimentales pour les quatre binômes, que si ces derniers prennent conscience que la réaction évolue dans un sens contraire à celui prévu alors ils cherchent à traduire l'évolution inattendue du système avec les éléments de la situation, soit en se référant aux observations, soit en réalisant d'autres expérimentations qui ne sont pas demandées dans la tâche...

Nous analysons la réalisation des activités successivement en comparant les résultats avec l'analyse à priori.

Chapitre D1 : Résultats des Analyses des réponses au questionnaire

Dans ce chapitre, nous traitons les réponses données par les étudiants à un questionnaire portant sur l'évolution d'un système oxydoréducteur.

Le questionnaire comprend deux questions :

- la question 1 porte sur la prévision de la ddp d'une pile
- la question 2 porte sur un dosage d'oxydoréduction et sur l'évolution du potentiel pendant le dosage.

Pour ces deux questions nous nous proposons de voir si les étudiants vont s'appuyer sur le modèle de Nernst pour prévoir l'évolution du système oxydoréducteur.

L'objectif de l'analyse des copies des étudiants est de répondre aux questions suivantes :

Est ce que les étudiants ont eu un enseignement du modèle de Nernst ?

Quels sont les modèles que mobilisent les étudiants pour prévoir l'évolution d'un système oxydoréducteur ?

I. Analyse des réponses à la question 1

I.1. Enoncé de la question 1

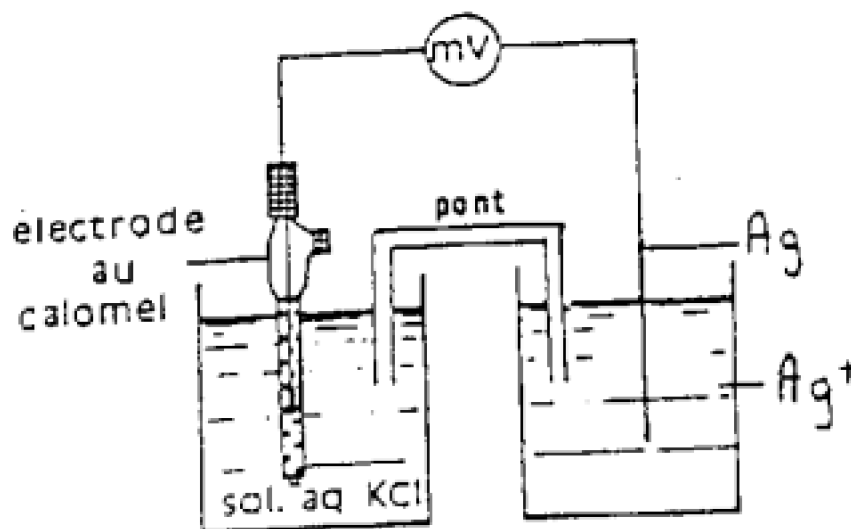


Figure 30 : Pile $Hg(l)/Hg_2Cl_2/Cl^- // Ag^+/Ag$

De quelles données faut-il disposer pour prévoir la valeur lue sur le millivoltmètre.

Justifier pourquoi il est important de connaître chacune de ces données.

I.2. Analyse des réponses à la question 1

A partir de la question 1, nous nous proposons de voir si les étudiants font le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre c'est-à-dire la ddp et le potentiel du système chimique. Les étudiants doivent alors définir les couples mis en jeu et la réaction d'oxydoréduction correspondante. Une fois l'équation de la réaction définie, les étudiants doivent fournir l'équation de Nernst qui correspond à la réaction.

Pour prévoir l'évolution du système, l'apprenant doit se référer aux grandeurs qui le caractérisent : les concentrations des entités, les potentiels de référence des couples mis en jeu, la température et la pression du système.

Disposant de toutes ces données l'apprenant serait capable de prévoir la ddp de la pile.

Nous nous proposons, à travers l'analyse des réponses des étudiants, de repérer les données sur lesquelles ils s'appuient pour prévoir l'évolution du système. Nous nous intéresserons aussi aux argumentations fournies par ces étudiants, afin de voir s'ils font référence au modèle de Nernst.

Copie 1 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre, les différentes concentrations initiales et les valeurs des potentiels de référence des électrodes sans mentionner ni la température ni la pression.

Pour argumenter il mentionne l'équation de Nernst sans donner son expression

Copie 2 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre, les potentiels de référence des deux électrodes et les concentrations des entités (Ag^+ et Cl^-) dans les deux demi piles.

Il y a absence d'argumentation, l'équation de Nernst est non mentionnée.

Copie 3 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre et seulement la concentration en Ag^+ et le potentiel de référence de l'électrode de droite : $E^\circ (\text{Ag}^+/\text{Ag})$

L'étudiant ne prend pas en considération l'électrode de référence : l'électrode au calomel.

L'étudiant argumente en mentionnant la formule de Nernst sans la donner « on la prévoit à l'aide de la formule de Nernst »

Copie 4 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre et le potentiel de référence de l'électrode de droite : $E^\circ (\text{Ag}^+/\text{Ag})$ ainsi que la concentration en Ag^+ . L'étudiant mentionne le potentiel de l'électrode au calomel, le potentiel de référence de l'électrode au calomel n'est pas mentionné.

Pour argumenter l'étudiant explique que la valeur lue sur le millivoltmètre est la différence du potentiel de l'électrode de droite et celle de gauche et il ne donne que l'équation de Nernst pour l'électrode de droite (Ag^+/Ag).

Copie 5 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre et le potentiel de référence de l'électrode de droite : $E^\circ (\text{Ag}^+/\text{Ag})$ ainsi que la concentration en Ag^+ . L'étudiant mentionne le potentiel de l'électrode au calomel, le potentiel de référence de l'électrode au calomel n'est pas mentionné (analogue à la réponse 4).

L'étudiant argumente que la valeur lue sur le millivoltmètre est la différence du potentiel de l'électrode de droite et celle de gauche sans donner l'équation de Nernst.

Copie 6 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre et seulement la concentration en Ag^+ et le potentiel de référence de l'électrode de droite : $E^\circ (\text{Ag}^+/\text{Ag})$ (analogue à la réponse 3)

L'élève argumente en mentionnant que la formule de Nernst dépend de la concentration de Ag^+ et du potentiel de référence de l'électrode d'argent.

Copie 7 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre, le potentiel de référence de l'électrode d'argent et aussi le potentiel de référence de l'électrode au calomel. L'équation de Nernst n'est pas mentionnée.

Copie 8 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre, le potentiel de référence de l'électrode d'argent, la concentration en ion Ag^+ et en ion chlorure, et « les conditions de la réaction » ; il mentionne la température et la pression du système. L'équation de Nernst n'est pas mentionnée.

Copie 9 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre, le potentiel de référence de l'électrode d'argent, la concentration en ion Ag^+ et la température du système. L'équation de Nernst n'est pas mentionnée.

Copie 10 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre, les concentrations de Ag^+ et de Cl^- et les potentiels de référence des électrodes Ag^+/Ag et

Cl_2/Cl^- . Il ne mentionne ni la température ni la pression.

Pour argumenter il donne l'équation de Nernst relative aux deux couples Ag^+/Ag et Cl_2/Cl^- en faisant une erreur de signe.

Copie 11 : Pour interpréter la valeur lue sur le millivoltmètre, l'étudiant mentionne les différentes concentrations initiales et les valeurs des potentiels de référence des électrodes, sans préciser les entités et les couples mis en jeu. Il ne fait référence ni à la température ni à la pression

Pour argumenter il mentionne l'équation de Nernst relative au couple Ag^+/Ag en rappelant que la différence de potentiel est le potentiel de l'électrode de droite moins le potentiel de l'électrode de gauche.

Copie 12 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre, la concentration de Ag^+ et les valeurs des potentiels de référence des électrodes (Ag^+/Ag et $\text{Hg}/\text{Hg}_2\text{Cl}_2$). Il ne mentionne ni la température ni la pression.

Copie 13 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre, les différentes concentrations initiales et les valeurs des potentiels de référence des électrodes (Ag^+/Ag et $\text{Hg}/\text{Hg}_2\text{Cl}_2$). Il ne mentionne ni la température ni la pression.

Pour argumenter il mentionne l'équation de Nernst relative à un couple redox dans le cas général.

Copie 14 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre, la concentration en Ag^+ et les valeurs des potentiels de référence des électrodes sans mentionner ni la température ni la pression.

Pour argumenter il donne l'expression de la différence de potentiel en fonction de l'équation de Nernst.

Copie 15 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre, les différentes « concentrations initiales en solution », le potentiel de référence de Ag^+/Ag et le potentiel de l'électrode au calomel sans mentionner ni la température ni la pression.

Pour argumenter il mentionne l'équation de Nernst relative à Ag^+/Ag en rappelant que la différence de potentiel est le potentiel de l'électrode Ag^+/Ag moins le potentiel de l'électrode au calomel.

Copie 16 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre, la concentration en ions Ag^+ et les valeurs du potentiel de référence de Ag^+/Ag et du potentiel de référence de l'électrode au calomel. L'étudiant ne mentionne ni la température ni la pression ni l'équation de Nernst.

Copie 17 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre, les concentrations initiales de Ag^+ et de Cl^- et les valeurs des potentiels de référence des électrodes Ag^+/Ag et de Cl_2/Cl^- . Il ne mentionne ni la température ni la pression.

Pour argumenter il rappelle que la différence de potentiel est le potentiel de l'électrode Ag^+/Ag moins le potentiel de l'électrode de Cl_2/Cl^- sans donner l'équation de Nernst relative aux deux couples Ag^+/Ag et Cl_2/Cl^- .

Copie 18 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre et les

concentrations initiales dans chacun des compartiments sans donner de détails.

L'étudiant ne donne que l'équation de Nernst dans le cas général et ne fait pas le lien avec les couples présents.

Copie 19 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre, les concentrations initiales et les potentiels de référence des deux couples dans chacun des compartiments sans les préciser.

L'étudiant donne l'équation de Nernst dans le cas général et ne fait pas le lien avec les couples présents.

Copie 20 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre, les concentrations initiales de Ag^+ et de Cl^- et les valeurs des potentiels de référence des électrodes Ag^+ / Ag et de $\text{Cl}_2 / \text{Cl}^-$. Il ne mentionne ni la température ni la pression.

Pour argumenter, l'étudiant rappelle que la différence de potentiel est le potentiel de l'électrode Ag^+ / Ag moins le potentiel de l'électrode de $\text{Cl}_2 / \text{Cl}^-$ et donne seulement l'équation de Nernst relative au couple Ag^+ / Ag .

Copie 21 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre, les concentrations et les valeurs des potentiels de référence (sans préciser les entités en question). Il ne mentionne ni la température ni la pression.

Pour argumenter il rappelle que la différence de potentiel est le potentiel de l'électrode Ag^+ / Ag moins le potentiel de l'électrode de KCl ($E_{\text{Ag}^+ / \text{Ag}} - E_{\text{KCl}}$) et il donne l'équation de Nernst incomplète relative au couple Ag^+ / Ag .

Copie 22 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre, la concentration initiale de Ag^+ , la valeur du potentiel de référence de l'électrodes Ag^+ / Ag et le potentiel de l'électrode au calomel et ceci sans mentionner ni la température ni la pression.

Pour argumenter il rappelle que la différence de potentiel est le potentiel de l'électrode Ag^+ / Ag moins le potentiel de l'électrode au calomel sans donner l'équation de Nernst relative aux deux couples en question.

Copie 23 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre, les différentes concentrations initiales (des entités Ag^+ , Ag , Hg , Hg_2Cl_2), les valeurs du potentiel de référence de Ag^+ / Ag et le potentiel de référence de l'électrode au calomel. Il ne mentionne ni la température ni la pression.

Pour argumenter il rappelle que la différence de potentiel est le potentiel de l'électrode Ag^+ / Ag moins le potentiel de l'électrode au calomel, il donne cette différence de potentiel en fonction des équations de Nernst relative à Ag^+ / Ag et à « $\text{Hg} / \text{Hg}_2\text{Cl}_2$ », il donne aussi la

demi équation redox relative au couple « $\text{Hg} / \text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ».

Copie 24 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre, les différentes concentrations initiales et les valeurs des potentiels de référence des couples mis en jeu sans les préciser et sans mentionner ni la température ni la pression.

L'étudiant mentionne l'importance des potentiels de référence et des concentrations

pour la détermination du sens du « courant ».

Copie 25 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre, les différentes concentrations initiales et les valeurs des potentiels de référence sans préciser les entités correspondantes et sans mentionner ni la température ni la pression. Il met aussi l'accent sur l'importance de la connaissance du produit de solubilité de AgCl.

Copie 26 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre, les différentes concentrations initiales et les valeurs des potentiels de référence de $\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$ et de $\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}$ (l'étudiant confond les données du premier et du second exercice) sans mentionner ni la température ni la pression.

Pour argumenter il mentionne l'équation de Nernst dans le cas général sans faire de liens.

Copie 27 : l'étudiant fait le lien seulement entre la valeur lue sur le millivoltmètre et les différentes concentrations initiales en Ag^+ et en Cl^- .

Il ne mentionne pas l'équation de Nernst.

Copie 28 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre, le potentiel de référence du couple « Ag / Ag^+ », le volume de la solution comportant ce couple et la concentration en Ag^+

Il ne mentionne pas l'équation de Nernst.

Copie 29 : l'étudiant fait le lien entre la valeur lue sur le millivoltmètre, les différentes concentrations (sans préciser les entités) et les potentiels d'oxydoréduction.

Il ne mentionne pas l'équation de Nernst.

II. Résultats de l'analyse des réponses à la question 1

L'analyse des réponses des étudiants à la question 1, nous a montré que ces réponses peuvent être catégorisées en trois catégories :

1. les réponses s'appuyant sur le modèle de Nernst avec explicitation de la formule de Nernst et des paramètres concentrations et potentiels de référence
2. les réponses s'appuyant sur le modèle de Nernst avec la seule explicitation des paramètres concentrations et potentiels de référence
3. les réponses faisant référence aux concentrations et aux potentiels de références mais sans explicitation du modèle de Nernst.

Les réponses des étudiant sont alors catégorisées comme suit :

Tableau 10 : Modèles mobilisés dans les réponses des étudiants à la question 1

Modèles mobilisés	Numéros des copies des étudiants
Modèle de Nernst (explicitation de la formule de Nernst et des paramètres : concentrations et potentiels de référence)	(4) (10) (11) (13) (14) (15) (18) (19) (20) (21) (23) (26)
Modèle de Nernst (référence à la loi de Nernst (sans formule) et explicitation des paramètres : concentrations et potentiels de référence)	(1) (3)
Evocation des concentrations et des potentiels de références(sans explicitation du modèle de Nernst)	(2) (5) (6) (8) (9) (12) (16) (17) (22) (24) (25) (28) (29)
Autres	(7) (27)

Ce tableau récapitulatif nous permet de vérifier que les étudiants ont eu un enseignement du modèle de Nernst. En effet presque la moitié des étudiants (14 étudiants) se sont explicitement référés à ce modèle, 13 étudiants ont évoqué les concentrations et les potentiels de référence pour la prédiction de l'évolution du système, ce qui relève implicitement du modèle de Nernst. Il y a seulement deux réponses que nous n'avons pas pu catégorisé car elles ne nous renseignent pas sur les modèles mobilisés. Nous pouvons conclure que la question 1 nous a permis de vérifier que les étudiants ont bien eu un enseignement du modèle de Nernst et que, pour répondre à cette question, la majorité des étudiants (27 étudiants parmi 29) se sont appuyés sur ce modèle soit d'une manière explicite soit d'une manière implicite.

III.Analyse des réponses à la question 2

III.1.Enoncé de la question 2

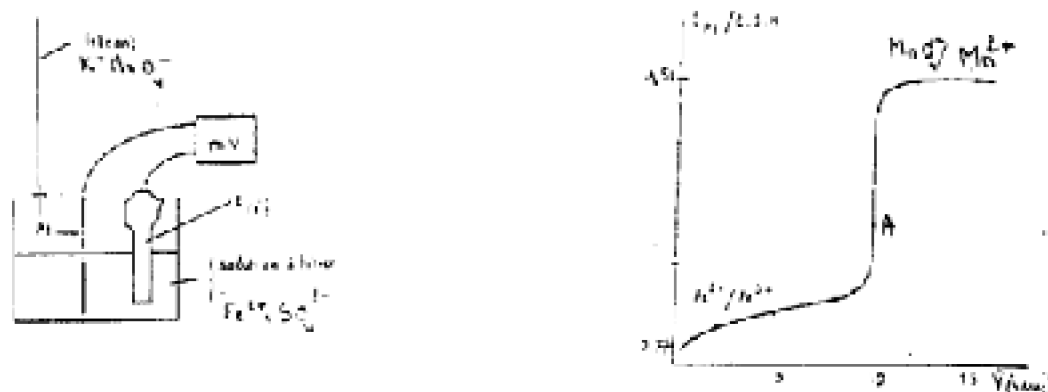


Figure 31 : Schémas du dosage et de la courbe du dosage des ions Fe^{2+} par les ions MnO_4^-

On suit l'évolution du potentiel pendant le dosage des ions Fe^{2+} par les ions MnO_4^- , on obtient la courbe ci-dessus.

- Quels sont les ions en solution lorsqu'on est arrivé au point A indiqué sur la courbe. 1.
(Soit SA la solution à cet instant)
- On ajoute une solution de sulfate de manganèse $Mn^{2+} + SO_4^{2-}$ à SA. Que se passe-t-il ? Justifier votre réponse. 2.
- On ajoute une solution de permanganate de potassium $K^+ + MnO_4^-$ à SA. Que se passe-t-il? Justifier votre réponse. 3.
- On ajoute une solution de sulfate ferrique $2 Fe^{3+} + 3 SO_4^{2-}$ à SA. Que se passe-t-il ?4.
Justifier votre réponse.
- On ajoute une solution de sulfate ferreux $Fe^{2+} + SO_4^{2-}$ à SA. Que se passe-t-il ? 5.
Justifier votre réponse.

III.2.Réponses à la question 2

A partir de la question 1), nous nous proposons de voir si l'étudiant donne du sens au point d'équivalence. La détermination des ions au point d'équivalence, se fait en plusieurs étapes. L'étudiant doit définir les réactifs, les couples mis en jeu, l'équation de la réaction et enfin les ions présents en solution au point d'équivalence.

Du point de vu du savoir savant, le point d'équivalence est caractérisé par l'épuisement des réactifs.

Au point A : $[Mn^{2+}] = c_0$, $[Fe^{3+}] = 5c_0$, $[MnO_4^-] = \square$ et $[Fe^{2+}] = 5\square$

Ceci explique que Fe^{2+} et MnO_4^- sont des espèces minoritaires.

Les réponses acceptables sont alors les suivantes :

liste des espèces majoritaires : Fe^{3+} , Mn^{2+}

liste des entités possibles en explicitant les entités minoritaires :

Fe^{3+} , Mn^{2+} , H_3O^+ , SO_4^{2-} , Fe^{2+} , MnO_4^- . L'étudiant doit préciser que Fe^{2+} , MnO_4^- - sont des espèces minoritaires.

Pour les questions 2), 3), 4), 5) l'ajout à S_A d'une solution de sulfate de manganèse $Mn^{2+} + SO_4^{2-}$ ou de permanganate de potassium $K^+ + MnO_4^-$ ou de sulfate ferreux $Fe^{2+} + SO_4^{2-}$ ou de sulfate ferrique $2 Fe^{3+} + 3 SO_4^{2-}$ ne pourra pas affecter quantitativement l'équilibre du système. C'est seulement la concentration de l'entité ajoutée qui va augmenter. Ceci peut se traduire par un déplacement sur la courbe indiquant une variation (augmentation ou diminution) du potentiel du système. La variation du potentiel du système est due à l'augmentation de la concentration de l'entité ajoutée mais n'indique pas un déplacement significatif de l'équilibre du système.

Pour fournir une réponse correcte du point de vue du savoir savant, l'apprenant doit s'appuyer sur le modèle de Nernst.

A l'aide du modèle de Nernst, les étudiants auront à relier les changements de concentrations des entités formant le système chimique à un changement de potentiel du système ou à un déplacement sur la courbe.

D'après l'analyse à priori et d'après l'étude des conceptions (Stavridou &

Solomonidou, 2000, Schmidt, 1995), nous faisons l'hypothèse que, pour répondre à ces questions, les étudiants peuvent s'appuyer sur trois modèles :

- Modèle de Nernst
- Modèle de Le Chatelier (Stavridou & Solomonidou, 2000)
- Modèle des couples de charges (Schmidt, 1995)

Nous nous proposons, à travers l'analyse des réponses des étudiants, de voir s'ils font référence au modèle de Nernst pour prévoir l'évolution du système. Nous nous intéresserons aussi aux différents autres modèles que peuvent mobiliser les étudiants pour prévoir cette évolution.

- Copie 1

1) L'étudiant ne fait pas le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il se contente de donner la liste de toutes les entités indiquées sur la courbe de dosage (Fe^{2+} , Fe^{3+} , MnO_4^- , Mn^{2+}).

2) 3) 4) 5) L'étudiant raisonne l'évolution du système par la loi de Chatelier (Solomonidou, 2000) : le système sera déplacé dans le sens qui tend à annuler le changement effectué.

L'étudiant relie dans chaque cas la variation du potentiel à la variation de l'intensité de la couleur de l'ion permanganate.

L'étudiant a des difficultés à relier les changements de concentrations des entités formant le système chimique à un déplacement sur la courbe.

Pour la question 2 l'étudiant applique la loi de Le Chatelier (loi de modération) et fait agir l'oxydant le plus faible sur le réducteur le plus faible pour prévoir une réaction indirecte alors que la réaction directe est quasi-totale.

Pour la question 3, il conçoit qu'il y a réaction d'oxydoréduction alors qu'il n'a pas de réducteur.

Pour la question 4, l'étudiant ne voit pas que la perturbation est vraiment minime car il ne s'appuie pas sur l'équation de Nernst mais il continue à appliquer la loi de Le Chatelier pour prévoir une évolution dans le sens direct.

Pour la question 5 l'étudiant conçoit qu'il y a réaction d'oxydoréduction alors qu'il n'y a pas d'oxydant.

- Copie 2

1) L'étudiant fait le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il donne du sens au point d'équivalence (au point A les réactifs sont épuisés) et répond que les ions présents au point A sont : (Fe^{3+} , Mn^{2+} , K^+ , SO_4^- , OH^- , H_3O^+).

2) 3) 4) 5) Pour répondre à ces questions l'étudiant écrit tout d'abord l'équation redox pour pouvoir appliquer la loi de Le Chatelier pour raisonner sur l'évolution du système lors des changements de concentrations des entités.

· Copie 3

1) L'étudiant fait le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il donne du sens au point d'équivalence (au point A les réactifs sont épuisés) et répond que les ions présents au point A sont : (Fe^{3+} , Mn^{2+} , SO_4^{2-} , OH^- , H^+).

2) 3) Pour répondre à ces questions l'étudiant donne le sens de déroulement de la réaction (direct ou inverse), il donne à chaque fois l'un des produits formés sans donner l'équation de la réaction d'oxydoréduction. D'après les produits fournis par l'étudiant, nous faisons l'hypothèse qu'il ait appliqué la loi de le Chatelier pour la prévision de l'évolution du système chimique.

4) 5) Pas de réponse.

· Copie 4

1) L'étudiant fait le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il donne les entités majoritaires Fe^{3+} et Mn^{2+} .

2) 3) 4) 5) Pour répondre à ces questions l'étudiant donne la variation du potentiel de chaque électrode en s'appuyant sur l'équation de Nernst.

· Copie 5

1) L'étudiant donne les entités présentes en solution d'une manière erronée (Fe^{3+} , Mn^{2+} , K^+ , SO_4^{2-} , Fe^{2+}).

2) 3) 4) 5) Pour répondre à ces questions l'étudiant s'appuie sur l'équation de Nernst relative à chaque électrode, mais l'étudiant se trompe pour le potentiel associé au couple $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$.

· Copie 6

1) L'étudiant fait le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il donne du sens au point d'équivalence (au point A les réactifs sont épuisés) et répond que les ions présents au point A sont : (Fe^{3+} , Mn^{2+} , K^+ , SO_4^{2-} , OH^- , H_3O^+).

2) 3) 4) 5) L'étudiant raisonne sur l'évolution du système en appliquant implicitement la loi de Chatelier sans qu'il la mentionne : le système sera déplacé dans le sens qui tend à annuler le changement effectué. L'étudiant ne donne aucune équation de la réaction alors qu'il décrit l'évolution du système en sens direct et en sens inverse.

· Copie 7

1) L'étudiant fait le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il donne les entités « *en proportions importantes* » : Fe^{3+} et Mn^{2+} et il signale qu'il existe « *des quantités faibles* » : Fe^{2+} et MnO_4^- .

2) La réponse de l'étudiant est qu'aucune réaction n'aura lieu, mais il n'explicite pas le modèle qu'il utilise et il ne précise pas la variation du potentiel. Cependant il précise que la concentration de Mn^{2+} augmente.

3) 4) et 5) pas de réponse

· Copie 8

1) L'étudiant fait le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il donne du sens au point d'équivalence (au point A les réactifs sont épuisés) et répond que les ions présents au point A sont : $(\text{Fe}^{3+}, \text{Mn}^{2+}, \text{K}^+, \text{SO}_4^{2-})$.

2) Aucune réponse.

3)4)5) Pour répondre à ces questions l'étudiant donne le sens de déroulement de la réaction directe ou inverse sans donner l'équation de la réaction d'oxydoréduction mais il se réfère implicitement à la loi de Chatelier. Particulièrement pour répondre à la question 4), l'étudiant prévoit une précipitation de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$; il s'agit alors du modèle de couple de charges.

· Copie 9

1) L'étudiant fait le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il donne du sens au point d'équivalence (au point A les réactifs sont épuisés) et répond que les ions présents au point A sont : $(\text{Fe}^{3+}, \text{Mn}^{2+}, \text{K}^+, \text{SO}_4^{2-})$.

2) 3)4)5) Pour répondre à ces questions l'étudiant donne le sens de déroulement de la réaction directe ou inverse sans donner l'équation de la réaction d'oxydoréduction mais il se réfère implicitement à la loi de Chatelier.

· Copie 10

1) L'étudiant fait le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il donne du sens au point d'équivalence (au point A les réactifs sont épuisés) et répond que les ions présents au point A sont : $\text{Fe}^{3+}, \text{Mn}^{2+}$ et que $\text{K}^+, \text{SO}_4^{2-}$ sont des ions spectateurs.

2) 3) 4) 5) L'étudiant prévoit qu'aucune réaction n'aura lieu et donne l'évolution du potentiel du système chimique mais il ne précise pas le modèle qu'il utilise.

· Copie 11

1) L'étudiant ne fait pas le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il se contente de donner la liste de plusieurs entités qui ne sont pas toutes présentes au point d'équivalence $(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Mn}^{2+}, \text{K}^+, \text{SO}_4^{2-}, \text{OH}^-, \text{H}^+)$.

2) 3) 4) 5) Pour répondre à ces questions l'étudiant fournit l'équation de Nernst dans le cas général et donne l'évolution du potentiel mais il se trompe.

· Copie 12

1) L'étudiant ne fait pas le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il se contente de donner la liste de plusieurs entités qui ne sont pas toutes présentes au point d'équivalence $(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Mn}^{2+}, \text{K}^+, \text{SO}_4^{2-})$.

2) la réponse de l'étudiant est que rien ne se passe mais il indique une augmentation des concentrations des entités ajoutées

3) Pour répondre à cette question l'étudiant donne les produits et le sens de déroulement de la réaction sans donner l'équation. Nous faisons l'hypothèse qu'il se réfère implicitement à la loi de Le Chatelier.

4) 5) la réponse de l'élève est qu'il y a simplement augmentation des concentrations des entités ajoutées.

· Copie 13

1) L'étudiant fait le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il donne du sens au point d'équivalence et répond que les ions présents au point A sont : Fe^{3+} , Mn^{2+} , K^+ , SO_4^{2-} .

2) L'élève prévoit une évolution du système dans le sens indirect selon la loi de la modération et il prévoit la formation d'un précipité MnO_2 à partir de Mn^{2+} et SO_4^{2-} .

3)4) L'évolution du système est prévue selon la loi de la modération

5) Pas de réponse

· Copie 14

1) L'étudiant fait le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il donne du sens au point d'équivalence et répond que les ions présents au point A sont : Fe^{3+} , Mn^{2+} , K^+ , SO_4^{2-} .

2) La réponse de l'élève est que rien ne se passe, mais il n'explicite pas le modèle qu'il utilise.

3)4) Les deux réponses sont régies par la loi de modération

5)La réponse est que rien ne se passe, mais l'élève ne fournit aucune explication.

· Copie 15

1) L'étudiant fait le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il donne du sens au point d'équivalence et répond que les ions présents au point A sont : Fe^{3+} , Mn^{2+} , K^+ , SO_4^{2-} .

2) La réponse de l'élève est que rien ne se passe, mais il n'explicite pas le modèle qu'il utilise.

L'évolution est prévue en sens inverse, mais l'étudiant ne fournit aucune explication

4)5) L'évolution obéit implicitement à la loi de modération

· Copie 16

1) L'étudiant fait le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il donne du sens au point d'équivalence et répond que les ions présents au point A sont : Fe^{3+} , Mn^{2+} , K^+ , SO_4^{2-} .

2)La réponse de l'étudiant est que la réaction évolue dans le sens indirecte selon « les lois de la cinétique ».

3) L'étudiant répond que rien ne se passe et il avance une bonne explication sur la composition du système.

4) La réponse à cette question est régie par la loi de la modération

5) La réponse de l'étudiant est que rien ne se passe

· Copie 17

1) L'étudiant fait le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il donne du sens au point d'équivalence et répond que les ions présents au point A sont : Fe^{3+} , Mn^{2+} , H^+ , OH^- , K^+ , SO_4^{2-} .

2) La réponse de l'étudiant est que la réaction évolue dans le sens directe selon la loi de modération.

3) L'étudiant répond que rien ne se passe et donne une explication correcte en s'appuyant sur la composition du système.

4) La réponse à cette question est régie par la loi de la modération.

5) La réponse de l'étudiant est que rien ne se passe.

· Copie 18

1) L'étudiant fait le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il donne du sens au point d'équivalence et répond que les ions présents au point A sont : Fe^{3+} , Mn^{2+} , H^+ .

2) 3) L'étudiant prévoit l'évolution du potentiel en se référant à l'équation de Nernst, relative au couple $\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}$. Il mentionne l'évolution du potentiel en le reliant aux concentrations de Mn^{2+} et de MnO_4^- .

4) 5) Pas de réponse

· Copie 19

1) L'étudiant ne fait pas le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il se contente de donner la liste de plusieurs entités qui ne sont pas toutes présentes au point d'équivalence (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , H^+ , K^+ , SO_4^{2-}).

2) 3) En se référant à l'équation de Nernst l'étudiant donne l'évolution du potentiel.

4) La réponse est que rien ne se passe mais il n'y a aucune argumentation

5) Pas de réponse

· Copie 20

1) L'étudiant ne fait pas le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il se contente de donner la liste de plusieurs entités qui ne sont pas toutes présentes au point d'équivalence (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , H^+ , K^+ , SO_4^{2-} , H_2O).

2) 3) L'étudiant donne l'évolution du potentiel d'une manière erronée, mais il n'explique pas le modèle qu'il suit.

4) Pas de réponse

5) L'étudiant prévoit une réaction, décrit l'évolution du potentiel en se référant à la courbe mais il n'explique pas le modèle qu'il suit.

· Copie 21

1) L'étudiant fait le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il donne du sens au point d'équivalence et répond que les ions présents au point A sont : Fe^{3+} , Mn^{2+} .

2) 3) L'étudiant prévoit l'évolution du potentiel en se référant à l'équation de Nernst, qu'il donne pour chacun des deux couples, mais il fait une erreur de signe pour l'équation de Nernst correspondante au couple $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$. L'étudiant mentionne l'évolution des concentrations mais il donne une différence de potentiel erronée due à l'erreur de signe.

4)5) En se référant à l'équation de Nernst, l'étudiant mentionne que l'évolution de la différence de potentiel se fait selon « *un effet contraire* ». Ceci nous conduit à faire l'hypothèse que cet étudiant interprète aussi l'évolution du système selon la loi de modération ou la loi de Le Chatelier.

· Copie 22

1) L'étudiant ne fait pas le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il se contente de donner la liste de plusieurs entités qui ne sont pas toutes présentes à l'équivalence (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , K^+ , SO_4^{2-}).

2)3)4)5) L'étudiant décrit l'évolution du potentiel en se référant à l'équation de Nernst.

· Copie 23

1) L'étudiant ne fait pas le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule car il ne donne pas la liste des entités au point A, mais il donne les proportions des entités Fe^{2+} et MnO_4^- à l'équivalence.

2)3) L'étudiant prévoit une augmentation du potentiel pour les deux cas, il ne donne pas l'équation de Nernst et n'explique aucun modèle.

4)5) Pas de réponses.

· Copie 24

1) L'étudiant fait le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il donne du sens au point d'équivalence et répond que les ions présents au point A sont : Fe^{3+} , Mn^{2+} , H^+ , OH^-

2)3)4)5) L'étudiant prévoit l'évolution du potentiel en se référant à la loi de modération : l'équilibre est perturbé afin de consommer l'entité qui a été ajoutée.

· Copie 25

1) L'étudiant fait le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, au point d'équivalence A, il donne la composition du système : Fe^{3+} et Mn^{2+} .

2) La réponse est que rien ne se passe et l'étudiant ne donne pas d'argumentation

3)4) L'étudiant prévoit une évolution du potentiel et un déplacement d'équilibre mais il n'explique pas le modèle qu'il suit.

5) L'étudiant prévoit une réaction parasite et mentionne les propriétés perceptibles du produit qui sera formé.

· Copie 26

1) L'étudiant fait le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il donne du sens au point d'équivalence et répond que les ions présents au point A sont : Fe^{3+} , Mn^{2+} , H_2O , K^+ , SO_4^{2-} .

2) 3)4)5) L'étudiant prévoit l'évolution du potentiel en se référant à l'équation de Nernst mais il se trompe dans l'écriture de cette équation relativement au couple $\text{Mn}^{2+}/\text{MnO}_4^-$.

· Copie 27

1) L'étudiant fait le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il donne du sens au point d'équivalence et répond que les ions présents au point A sont : Fe^{3+} , Mn^{2+}

2) L'étudiant prévoit une réaction de précipitation selon le modèle de couple de charge : $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$

3) La réponse de l'étudiant c'est qu'il y a oxydation des Mn^{2+}

4)5) Les réponses de l'étudiant indiquent que « rien ne se passe » mais n'explicitent pas le modèle utilisé.

· Copie 28

1) L'étudiant ne fait pas le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui se déroule, il indique que les entités présentes au point d'équivalence sont les suivantes: Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{2+}

2) L'étudiant prévoit une réaction de précipitation selon le modèle de couple de charge : il s'agit de la formation de $\text{Fe}(\text{SO}_4)$

3)La réponse de l'étudiant satisfait à la loi de modération.

4)5)L'étudiant prévoit une précipitation selon le modèle de couple de charge : il s'agit $\text{Fe}(\text{SO}_4)$.

· Copie 29

1) L'étudiant ne fait pas le lien entre le graphique du dosage et la réaction qui s'est déroulée car il mentionne qu'au point A les entités présentes sont: Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , H_2O , K^+ , SO_4^{2-} .

2) L'étudiant prévoit une évolution de réaction selon la « loi de modération ».

3)4)5) L'étudiant prévoit l'évolution du potentiel du système (V_{\square} ou V_{\square}) d'une manière erronée, mais ne donne pas explicitement le modèle qu'il suit.

IV. Résultats de l'analyse des réponses à la question 2

L'analyse des réponses des étudiants à la question 2, nous a montré que ces réponses peuvent être catégorisées en trois catégories :

- les réponses s'appuyant sur le modèle de Nernst 1.
- les réponses s'appuyant sur le modèle de Le Chatelier 2.
- les réponses s'appuyant sur le modèle de couple de charges 3.

Les réponses des étudiant sont alors catégorisées comme suit :

Tableau 11 : Modèles mobilisés dans les réponses des étudiants à la question 2

Modèles mobilisés	Numéros des copies des étudiants
Modèle de couple de charge	(8) (13) (27) (28)
Modèle de Le Chatelier	(1) (2) (3) (6) (8) (9) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (21) (24) (29)
Modèle de Nernst	(4) (5) (11) (18) (19) (21) (22) (26)
Autres : modèles non explicités	(7) (10) (20) (23) (25)

Ce tableau récapitulatif nous permet de confirmer l'analyse à priori que nous avons faite. En effet les étudiants ont mobilisé les trois modèles prévus. Le modèle de Le Chatelier est le modèle le plus mobilisé ; 15 étudiants ont mobilisé ce modèle alors que 8 étudiants ont mobilisé le modèle de Nernst et 4 le modèle de couple de charge.

L'analyse des réponses à la question 2 nous permet de confirmer que les étudiants ont bien eu un enseignement du modèle de Nernst et qu'ils mobilisent aussi les modèles de couples de charges et de Le Chatelier pour la prévision de l'évolution d'un système oxydoréducteur. Ces deux derniers modèles, que nous avons repéré dans l'étude des conceptions dans le domaine d'acido-basicité, sont inappropriés pour la prévision de l'évolution d'un système oxydoréducteur.

V. Conclusion

L'analyse des réponses des étudiants au questionnaire nous a permis de vérifier que ces étudiants mobilisent le modèle de Nernst pour prévoir l'évolution d'un système oxydoréducteur. Ceci témoigne qu'ils ont eu un enseignement de ce modèle. Nous avons aussi constater que pour répondre à la question 1 la majorité des étudiants s'appuie sur le modèle de Nernst pour fournir une réponse correcte mais n'explique pas dans tous les cas le recours à ce modèle. 13 étudiants parmi 29 ont évoqué l'importance des concentrations et des potentiels de référence dans la détermination de l'évolution d'un système

oxydoréducteur mais ne se sont pas explicitement référés au modèle de Nernst.

Nous avons aussi constaté que pour répondre à la question 2 la majorité des étudiants s'est appuyée sur le modèle de Le Chatelier pour prévoir l'évolution du système oxydoréducteur. Certains étudiants se sont aussi appuyés sur le modèle de couple de charges.

L'usage du modèle de Nernst d'une manière implicite et le recours à des modèles inappropriés pour la détermination de l'évolution d'un système oxydoréducteur, nous laisse supposer que bien que les étudiants aient eu un enseignement de ce modèle, son utilisation pose certains problèmes.

En changeant de situation (de la question 1 à la question 2), nous remarquons que les réponses des étudiants diffèrent et que le modèle de Nernst n'est pas forcément le seul modèle utilisé pour interpréter l'évolution du système oxydoréducteur. La question qui se pose alors est face à des situations différentes quels sont les modèles que peuvent mobiliser les étudiants pour prévoir et interpréter l'évolution d'un système oxydoréducteur ?

Chapitre D 2 : Résultats des Analyses des transcriptions des binômes pour la situation A1

La situation A1 est composée de deux expériences : expérience 1 et expérience 2.

L'expérience 1 a pour objectif de faire extérioriser aux apprenants le modèle qu'ils utilisent pour prévoir l'évolution d'un système oxydoréducteur.

L'expérience 2 a pour objectif de mettre l'apprenant face à un système chimique auquel on apporte une perturbation qui fait inverser son évolution. Les étudiants sont alors confrontés à une réaction qui va s'inverser.

Pour rendre compte du sens de l'évolution d'un système oxydoréducteur, on demande à l'étudiant de construire une pile, et c'est la ddp de cette pile qui renseigne l'étudiant sur le sens de l'évolution du système oxydoréducteur et par conséquent sur le sens de la réaction.

Suite à une perturbation apportée au système chimique, la ddp de la pile prend alors une valeur négative, ce qui témoigne que la réaction s'est inversée. Le but de cette expérience 2 est d'amener l'apprenant à interpréter l'inversion de la ddp et à revoir le modèle prédictif qu'il utilise quand celui-ci ne permet pas d'interpréter la situation. Cette expérience 2 pourrait alors nous renseigner sur les conceptions des étudiants à propos de l'irréversibilité de la réaction chimique. L'irréversibilité, dans notre cas, est intimement liée à l'usage du modèle des potentiels de référence, car ce modèle ne prévoit qu'un seul sens d'évolution du système oxydoréducteur.

A travers les expériences 1 et 2 nous nous proposons de voir à quels niveaux de modélisation les apprenants font recours et quels sont les liens qu'ils établissent entre les

différents niveaux mis en jeu pour prévoir et justifier l'évolution d'un système chimique. Nous nous proposons aussi de voir quels sont les éléments de la situation qui vont permettre aux étudiants de revoir leur modèle prédictif et de dépasser les difficultés de prévision de l'évolution du système oxydoréducteur.

I. Analyse de la situation A1 Expérience 1

Pour l'expérience 1 de la situation A1, et pour la première et la deuxième question, les étudiants sont mis devant une situation pour laquelle ils auraient un certain nombre de tâches à accomplir. Ils doivent expérimenter en manipulant des produits chimiques (lame de cuivre qu'on fait tremper dans une solution de nitrate d'argent), observer, chercher à comprendre ces observations, identifier enfin le produit formé et donner l'équation chimique correspondant à la réaction qui a eu lieu. Pour cela, les étudiants doivent mettre en jeu un ou plusieurs modèles pour répondre à des questions qui les guident dans l'analyse de l'expérience. Notre analyse vise à repérer et à décrire (à l'aide du modèle des deux mondes) les modèles mobilisés par les étudiants (couple de charges).

Nous rappelons que les deux premières questions sont les suivantes :

1) - Quelle est la composition chimique du dépôt qui s'est formé sur la lame de cuivre ?

2) - Proposer une équation chimique qui rende compte de ces observations.

Ces deux questions supposent donc que les étudiants sont capables de faire la liste des objets-événements perceptibles, de faire la liste des objets reconstruits et de faire des hypothèses sur ce qui s'est formé, c'est à dire de reconstruire l'événement dans les termes de la chimie.

En se référant à une réponse correcte selon le savoir savant, nous attendons à ce que les étudiants prennent en compte les objets reconstruits Ag^+ / Ag et Cu^{2+} / Cu et qu'ils trouvent l'événement reconstruit qui est la réaction chimique aboutissant à la formation du dépôt d'argent sur la lame de cuivre. La réaction chimique devrait être interprétée à l'aide du modèle de Nernst. Donc si l'étudiant utilise le modèle de Nernst, il doit alors faire apparaître le niveau des grandeurs relatif aux concentrations.

Nous prévoyons que la majorité des étudiants vont appliquer le modèle prédictif E° sans tenir compte des caractéristiques du système telles que les concentrations des entités, la température et la pression. Nous faisons aussi l'hypothèse que les étudiants peuvent faire recours au modèle de couple de charge (Schmidt 1995) qui peut être induit par la présence de Ag^+ et de NO_3^- .

La troisième question de cette situation A1 expérience 1, demande aux étudiants de prévoir ce qui se passerait si on réalise une expérience inverse c'est-à-dire si on trempe une lame d'argent dans une solution de nitrate de cuivre. On demande alors à l'étudiant de prévoir ce qui se passerait et de justifier sa réponse.

Pour cette troisième question et en se référant au savoir savant, les étudiants doivent mettre une hypothèse sur les concentrations et leur importance dans l'évolution d'un système chimique et doivent aussi faire référence aux conditions de l'expérience

c'est-à-dire à la température et à la pression.

En se référant aux conceptions sur l'évolution d'un système chimique, nous prévoyons que les étudiants vont s'appuyer sur le modèle prédictif des potentiels de référence et vont conclure que la réaction ne peut pas se passer dans le sens inverse. Les étudiants peuvent aussi s'appuyer sur l'irréversibilité de la réaction chimique pour justifier leur réponse. Nous attribuons ce fait à une conception largement répandue sur l'irréversibilité des réactions chimiques: «Chemical reactions are reactions which produce irreversible Change » (Chercheurs d'Arizona Stata University, 2001).

A travers la situation A1 expérience 1, nous nous proposons de voir sur quels modèles s'appuient les apprenants pour prévoir l'évolution d'un système chimique, à quels niveaux ils recourent et quels sont les liens qu'établissent ces étudiants pour prévoir et justifier l'évolution d'un système chimique.

I.1.Résumé des dialogues des étudiants

Afin d'analyser globalement les activités des quatre binômes nous avons procédé à un découpage de plusieurs niveaux. Ce découpage est similaire à celui adopté par Buty (2000) ; les niveaux du découpage sont : les situations, les phases et les étapes.

Une situation est alors définie par le contenu qu'elle met en jeu ; elle est construite avant la séance et met en jeu plusieurs activités différentes (situation A1, A2, B).

Une phase est définie, comme l'ensemble des interventions ayant une unité de sens ; elle peut constituer une réponse à une question ou à un groupement de questions. Une phase peut être définie, comme une situation, avant la séance et aussi en cours de la séance, mais sa structuration peut varier en fonction des réponses des apprenants. Chaque phase est repérée par des numéros des interventions extrêmes (début et fin des interventions relatives à la phase)

A priori avant les séances, nous avons défini cinq phases pour la situation A1de la manière suivante :

- une première phase de reconnaissance du matériel, de lecture des données et de réalisation de l'expérience demandée
- une deuxième phase qui porte sur la description des observations, l'identification des entités présentes et enfin la réponse à la question1. En fait cette deuxième phase porte principalement sur la réponse à la première question, mais vu que la première question est intimement liée aux observations et à l'identification des entités, nous avons groupé ces étapes.
- une troisième phase qui porte sur la réponse à la question2
- une quatrième phase qui porte sur la réponse à la question 3
- une cinquième phase qui porte sur la réponse à la question 4

Après avoir transcrit les dialogues des binômes nous nous sommes aperçus que ces derniers peuvent traiter deux questions à la fois ; ceci a été observé pour les questions 3 et 4 chez les 4 binômes. C'est pour cette raison que nous avons considéré que les

réponses à la question 3 et 4 constituent une seule phase.

A son tour une phase peut être subdivisée en étapes qui traduisent avec plus de précision l'activité de l'apprenant et reconstituent sa démarche. La succession des étapes à l'intérieur d'une phase reconstituent la façon dont l'élève traite une question pour répondre à ce qu'on lui demande de faire.

Il est à signaler que pour les étapes, il n'y a pas de correspondance entre chaque alinéa et les tours de parole, par ce qu'elles peuvent être évoquées à plusieurs reprises à différents moments de la phase.

D'après l'analyse des transcriptions, les quatre tableaux ci-dessous résument pour les quatre binômes les grandes phases de l'activité. L'intégralité des phases d'activités pour les quatre binômes enregistrés est donnée en annexes (Annexes C).

Tableau 12 : Les phases et les étapes de l'expérience1 (situation A1) pour le binôme J&C

Phase	N° d'interventions du début et de la fin de chaque phase	Etapes de chaque phase de l'activité
1	1 - 8	Reconnaissance du matériel Lecture des données Réalisation de l'expérience demandée
2	9 - 22	Description des observations Identification des entités présentes Réponse à la question1 : Identification du dépôt formé $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ en s'appuyant sur le modèle des couples de charge
3	23 - 46	Réponse à la question2 : Ecriture de l'équation correspondante à la dissociation de AgNO_3 Identification des couples Ecriture des demi équations redox Ecriture de l'équation bilan Conclusion que le dépôt n'est pas $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ mais Ag
4	47 - 53	Réponses aux questions 3 et 4 : Ecriture de l'équation prévue qui est inverse par rapport à la première équation Interrogation sur la possibilité de cette réaction Evocation de la force et du pouvoir oxydant Confirmation que c'est bien la réaction inverse qui se passe et justification par le transfert d'électrons

Tableau 13 : Les phases et les étapes de l'expérience1 (situation A1) pour le binôme S&A

Phase	N° d'interventions du début et de la fin de chaque phase	Etapes de chaque phase de l'activité
1	1 - 8	Reconnaissance du matériel Lecture des données Réalisation de l'expérience demandée
2	9 - 26	Réponse à la question1 : Identification du dépôt comme étant Ag à partir des observations Identification du dépôt à partir de la demi réaction
3	26 - 50	Réponse à la question2 : Ecriture des demi équations redox Ecriture de l'équation bilan selon le sens de la formation du dépôt de Ag
4	51 - 56	Réponses aux questions 3 et 4: Conclusion immédiate que rien ne se passe Argumentation par le pouvoir réducteur

Tableau 14 : Les phases et les étapes de l'expérience1 (situation A1) pour le binôme Y&B

Phase	N° d'interventions du début et de la fin de chaque phase	Etapes de chaque phase de l'activité
1	1 - 8	Reconnaissance du matériel Lecture des données Réalisation de l'expérience demandée
2	9 - 20	Description des observations Identifications des entités présentes Réponse à la question1 : Identification du dépôt formé comme étant du Ag à partir de l'équation de la réaction
3	21 - 36	Réponse à la question2 : Ecriture des demi équations redox Ecriture de l'équation bilan selon le sens de la formation du dépôt de Ag
4	37 - 51	Réponses aux questions 3 et 4: Conclusion immédiate que rien ne se passe Argumentation par le pouvoir oxydant Vérification des pouvoirs oxydants à travers les potentiels de référence

Tableau 15 : Les phases et les étapes de l'expérience1 (situation A1) pour le binôme K&F

Phase	N° d'interventions du début et de la fin de chaque phase	Etapes de chaque phase de l'activité
1	1	Reconnaissance du matériel Lecture des données Réalisation de l'expérience demandée
2	2 - 13	Description des observations Réponse à la question1 : Identification du dépôt formé comme étant du Ag à partir de ses propriétés perceptibles Identification du dépôt formé à partir de l'équation de la réaction
3	13 - 22	Réponse à la question2 : Ecriture des demi équations redox Ecriture de l'équation bilan selon le sens de la formation du dépôt de Ag
4	23 - 85	Réponses aux questions 3 et 4: Conclusion immédiate que rien ne se passe Argumentation par la constante d'équilibre Calcul de la constante d'équilibre à partir des potentiels de référence indépendamment des conditions expérimentales

Ces tableaux permettent une analyse globale des réponses des élèves. Pour la première phase, tous les binômes sont passés chronologiquement par la reconnaissance du matériel, par la lecture des données et par la réalisation de l'expérience demandée; ce qui confirme les étapes construites pour prévoir l'activité de l'apprenant. Pour répondre aux questions 1 et 2 de la situation A1, trois des quatre binômes (S&A, Y&B, K&F) ont procédé à une identification du dépôt formé à partir des observations et à partir de l'écriture de l'équation de la réaction dans le sens de la formation de l'argent Ag. Donc les observations ont guidé les étudiants à identifier le dépôt formé et à écrire l'équation correspondante, ce qui ne fait pas expliciter le modèle appliqué par ces trois binômes. Généralement le recours à l'observation n'est pas la spécificité d'un binôme ou d'un autre, c'est ce qu'on trouve dans la littérature (Rollnick & al, 2001) et qui confirme qu'au cours des expérimentations les apprenants commencent toujours par l'observation.

Exceptionnellement pour le binôme J&C, l'identification du dépôt formé a été faite en premier lieu à partir du modèle des couples de charges et c'est par la suite en identifiant les entités et les couples présents que le binôme J&C a fourni l'équation correspondant à la formation de Ag.

Pour répondre aux questions 3 et 4, nous remarquons qu'il y a un consensus « immédiat » sur l'irréversibilité de la réaction chimique pour les quatre binômes.

Cette irréversibilité de la réaction chimique découle du fait que les quatre binômes s'appuient principalement sur le modèle des potentiels de référence. Nous repérons l'usage de ce modèle à travers le recours aux pouvoirs oxydants, aux pouvoirs réducteurs ou même à la constante d'équilibre dans les conditions normales. Les interventions des différents binômes se présentent alors comme suit :

Binôme J&C :

C 54 : *mais est-ce qu'elle est possible cette réaction (?) je me demande si elle est possible (?)*

C 56 : *peut être que ils n'ont pas la même force pouvoir oxydant des deux couples ne permet pas la réaction*

Binôme Y&B :

Y 39 : *si on fait l'inverse qu'est ce qu'on va obtenir (?)*

Y 43 : *normalement y a pas de réaction*

B 44 : *par ce que le pouvoir oxydant de Cu^{2+} elle est inférieur au pouvoir oxydant de Ag^+*

Binôme K&F :

F 23 : *normalement je pense qu'il n' y a aucun de réaction rien ne se passerait*

K 27 : *on peut calculer le la constante d'équilibre de cette réaction*

Ce consensus sur l'irréversibilité de la réaction chimique n'est qu'une déduction faite à partir du modèle des potentiels de référence. En effet le modèle des potentiels de référence ne prends pas en compte la réversibilité de la réaction d'oxydoréduction, la réversibilité apparaît alors en conflit avec ce modèle. Dans le but de savoir si l'apprenant conçoit la réversibilité et pour savoir quels sont les processus cognitifs mis en jeu lorsqu'il y a réversibilité de la réaction d'oxydoréduction, nous allons pour les quatre binômes procéder par une analyse plus fine de cette irréversibilité.

I.2.Analyse des activités cognitives des étudiants :

L'objectif de cette partie est d'analyser l'activité cognitive de l'apprenant face à une réaction d'oxydoréduction qui est réversible et dont on impose, par les conditions expérimentales adaptées, l'inversion du sens prévu par le modèle des potentiels de référence. La réversibilité va mettre en question le modèle des potentiels de référence, ce qui va faire émerger les connaissances et les systèmes explicatifs de l'apprenant.

L'analyse de l'irréversibilité de la réaction chimique sera faite à partir de la troisième et de la quatrième question :

3) Prévoir ce qui se passerait si on trempait une lame d'argent dans une solution de nitrate de cuivre $\text{Cu}^{2+} + 2\text{NO}_3^-$?

4) Justifier votre réponse.

En se référant au savoir savant et pour fournir une réponse correcte, les étudiants doivent articuler le modèle de Nernst avec les caractéristiques du système : concentration, température et pression. Selon les valeurs des concentrations et selon la température et la pression, si la différence de potentiel (E) de la pile correspondant au système chimique est positive, il est possible d'avoir la réaction d'équation :



$$\Delta E = E^\circ \text{Cu}^{2+}/\text{Cu} - E^\circ \text{Ag}^+/\text{Ag} + \frac{RT}{2F} \ln \frac{[\text{Cu}^{2+}]}{[\text{Ag}^+]^2}$$

La possibilité du déroulement de la réaction inverse par rapport à celle décrite dans les questions 1 et 2 et qui ne respecte pas le modèle des potentiels de référence va remettre en cause ce modèle.

Nous nous proposons alors de voir à quel point le modèle des potentiels de référence est stable dans la tête de l'apprenant et comment l'apprenant va justifier l'application de ce modèle dans le cas d'une réaction d'oxydoréduction réversible.

Nous nous proposons aussi de voir si l'apprenant conçoit la réversibilité d'une réaction d'oxydoréduction et si l'évocation de cette réversibilité va l'orienter pour adopter un autre modèle prédictif et abandonner par conséquent son modèle des potentiels de référence ?

Dans le but de répondre à ces questions, nous nous proposons d'analyser certaines interventions des apprenants lorsqu'ils répondent aux questions 3 et 4.

Pour analyser les interventions les plus illustratives de la démarche de l'apprenant, nous considérons que les passages les plus importants articulent différents niveaux de modélisation. Cette articulation des différents niveaux de modélisation témoigne qu'il s'agit d'un moment important dans l'activité de l'apprenant.

L'analyse des interventions repose sur le repérage des niveaux de modélisation mis en œuvre par ces apprenants et des liens qu'ils font entre ces niveaux.

Au cours de l'analyse nous nous proposons de repérer les deux activités cognitives suivantes :

Activité A :

Lors de l'activité A, les binômes évoquent l'irréversibilité d'une réaction chimique.

Activité B :

Lors de l'activité B, les binômes cherchent à traduire et à argumenter l'idée d'irréversibilité de la réaction chimique, soit avec des modèles, soit avec les éléments de la situation.

I.2.1. Activité A : Evocation de l'irréversibilité d'une réaction chimique

Pour chacun des quatre binômes, cette activité A s'est présentée de la façon suivante :

Binôme J&C

L'irréversibilité, pour le binôme (J&C), a résulté du cheminement suivant :

- Réversibilité de la réaction à partir de l'équation correspondante :

J 51 : *les ions Cu^{2+} vont réagir avec les ions avec les Ag pour donner Ag^+* (é)

- Réversibilité de la réaction à partir des observations expérimentales prévues :

J, C-52-53 : *c'est à dire on va avoir la lame de la lame d'argent c'est la source des ions Ag (O,o) et la solution va nous donner des ions Cu^{2+} (O, o)*

ce qui donnerait la formation d'une (...) d'une couche sur la lame d'argent qui sera de couleur bleu due aux ions cuivre (E, P, o)

- Evocation implicite de l'irréversibilité:

C 54 : *mais est-ce qu'elle est possible cette réaction (?) je me demande si elle est possible (?) (é, p)*

J&C se lancent directement dans la description et dans l'écriture de l'équation et c'est par la suite que C se pose la question sur la réversibilité de la réaction. Le fait que C se demande si la réaction $Cu^{2+} + Ag$ est possible, alors qu'il vient de réaliser la réaction $Cu + Ag^+$, montre qu'il se pose une question sur la réversibilité.

Binôme S&A

A 51 : *on a dit qu'il ne se passe rien puisque (...) (é) ou (E)*

La réponse de A est qu'il ne se passe rien, ce qui témoigne que pour A la réaction ne peut se passer que dans un seul sens.

Binôme Y&B

Y 39 : *si on fait l'inverse qu'est ce qu'on va obtenir (?) □(E)*

Y 43 : *normalement y a pas de réaction □(é)*

Pour Y « normalement » il y a pas de réaction, témoigne que la réversibilité de la réaction est vue comme une anomalie

Binôme K&F

F 23 : *normalement je pense qu'il n' y a aucun de réaction rien ne se passerait*

□(é)

K 26 : *normalement si une réaction si la réaction se fait dans ce sens normalement □(é, p)*

K&F présentent la même réponse que Y&B : la réversibilité de la réaction est vue comme une anomalie

En résumé, les niveaux de connaissances mis en jeu dans cette activité A par les quatre binômes sont :

Tableau 16 : Niveaux de connaissances mis en jeu dans l'activité A par les quatre binômes

Binôme	exemple	Niveaux de connaissance
J&C	<i>est-ce qu'elle est possible cette réaction</i>	é, p
S&A	<i>on a dit qu'il ne se passe rien</i>	é ou E
Y&B	<i>normalement y a pas de réaction</i>	E é
K&F	<i>normalement si une réaction si la réaction se fait dans ce sens normalement</i>	é é,p

Commentaires :

Les différents binômes ont adopté différentes démarches pour constater en termes d'événement (é) qu'il n'y pas de réaction inverse.

D'après notre analyse a priori, les étudiants devaient partir des entités figurant dans les données (o) pour écrire l'équation de la réaction (é) . Par la suite ils devaient relier l'équation de la réaction à l'équation de Nernst (é, t) et discuter l'évolution du système chimique en se référant aux paramètres de l'équation de Nernst (é, G). Pour fournir une réponse acceptable selon le savoir savant, ils devaient mobiliser les niveaux suivants : (o, é, t, é, G). Pour aucun des binômes, nous ne trouvons d'éléments théoriques (t) explicités sur le fait que la réaction ne peut pas se faire dans l'autre sens.

Nous avons mentionné, dans la partie consacrée aux conceptions, les résultats de la recherche de Van Driel (1998) qui montrent que :

- Les élèves font souvent la distinction entre les phénomènes physiques et les phénomènes chimiques en indiquant que les phénomènes physiques sont réversibles alors que les phénomènes chimiques ne le sont pas.
- La plupart des élèves considèrent que les substances initiales qui sont les réactifs se consomment complètement et définitivement suite à une réaction chimique. Aussitôt que les réactifs sont épuisés, la réaction est considérée comme finie.

Pour deux des 4 binômes (J&C et K&F), nous retrouvons explicitement cette dernière conception car pour eux la réaction ne peut se dérouler que dans un sens direct.

1.2.2. Activité B : Argumentation de l'irréversibilité d'une réaction chimique

Pour chacun des quatre binômes, l'activité B s'est présentée de la façon suivante :

J&C

C 56 : *peut être que ils n'ont pas la même **force pouvoir oxydant** des deux **couples** ne permet pas la **réaction ((p, o) , é, Mch)*** □ Nous considérons que le pouvoir oxydant est une propriété de l'objet reconstruit « couple »; C fait référence au pouvoir oxydant qui constitue la composante principale du modèle des potentiels de référence pour argumenter que la réaction inverse ne pourra pas avoir lieu.

S&A

S 52 : *le **pouvoir réducteur** du **Cu** est **plus fort** que celui de **Ag** ((p, o), (p, o),*

Mch) □ la comparaison des pouvoirs oxydants est déjà déduite à partir de la première expérience ;

S se base sur le même principe que C, mais il compare les pouvoirs réducteurs pour prévoir un sens unique de la réaction.

Y&B

B 44 : *par ce que le pouvoir oxydant de Cu^{2+} elle est inférieur au pouvoir oxydant de Ag^+* [(p, o), (p, o), Mch] □

Il s'agit encore de la comparaison des pouvoirs oxydants.

K&F

K 26 : normalement si une réaction si la réaction se fait dans ce sens normalement (é, p)... *on peut calculer le **la constante d'équilibre de cette réaction (G, é)***

Pour argumenter que la réaction ne peut se dérouler que dans le sens direct, K évoque la constante d'équilibre de la réaction directe alors qu'il ne dispose pas de toutes les données nécessaires. Ceci laisse supposer que K va calculer la constante d'équilibre de la réaction dans les conditions de référence, ce qui représente une application directe du modèle des potentiels de référence.

En résumé, les niveaux de connaissances mis en jeu dans cette phase B par les quatre binômes sont :

Tableau 17 : Niveaux de connaissances mis en jeu dans l'activité B par les quatre binômes

Binôme	exemple	Niveaux de connaissance
J&C	<i>peut être que ils n'ont pas la même force pouvoir oxydant des deux couples ne permet pas la réaction</i>	((p, o) , é, Mch)
S&A	<i>le pouvoir réducteur du Cu est plus fort que celui de Ag</i>	((p, o), (p, o), Mch)
Y&B	<i>par ce que le pouvoir oxydant de Cu^{2+} elle est inférieur au pouvoir oxydant de Ag^+</i>	[(p, o), (p, o), Mch]
K&F	<i>normalement si une réaction si la réaction se fait dans ce sens normalement</i>	(é,p) (G,é)

Commentaires :

- Pour la justification de l'irréversibilité, les trois premiers binômes mettent en jeu les propriétés des objets impliqués dans la réaction chimique. Pour deux des quatre cas, il y a une comparaison de ces propriétés, ce que nous avons catégorisé comme une activité mettant en jeu un niveau correspondant au modèle chimique.

Cette propriété est le pouvoir oxydant de chaque couple mis en jeu.

Le quatrième binôme K&F met une grandeur en jeu, il s'agit de la constante d'équilibre de la réaction étudiée. Cette constante d'équilibre est intimement liée aux

potentiels de référence et par conséquent relève du modèle des potentiels de référence.

I.3.Conclusion de la situation A1 expérience1:

L'expérience 1 de la situation 1 nous révèle que pour les quatre binômes la réaction chimique est irréversible. En effet pour répondre à la troisième question, concernant la réversibilité de la réaction, les différents binômes ont adopté différentes démarches pour constater en termes d'événement (é) qu'il n'y pas de réaction inverse. Pour aucun des binômes, nous ne trouvons d'éléments théoriques (t) explicités sur le fait que la réaction ne peut pas se faire dans l'autre sens.

Pour la justification de l'irréversibilité de la réaction chimique, les trois premiers binômes mettent en jeu les grandeurs des objets impliqués dans l'inversion (concentrations, potentiels de référence des couples..). Pour deux des quatre cas, il y a une comparaison de ces grandeurs, ce que nous avons catégorisé comme une activité mettant en jeu le niveau de modèle chimique. A partir des valeurs des potentiels de référence E° , le quatrième binôme K&F confirme que la constante d'équilibre de la réaction est grande et conclut alors que la réaction se fait seulement dans un seul sens.

Nous pouvons alors conclure que pour les différents binômes, la prévision de l'évolution d'un système chimique se fait principalement à l'aide du modèle E° , ce qui conduit dans certains cas à des prévisions contraires aux observations expérimentales.

Ainsi, pour les quatre binômes, le modèle E° s'avère être la source principale des conceptions à propos de l'irréversibilité de la réaction chimique.

II.Analyse de la situation A1 Expérience 2

Nous nous proposons à travers la situation A1 expérience 2, de faire apparaître les difficultés d'interprétation des faits expérimentaux, utilisant le modèle des potentiels de référence.

Cette expérience met en jeu des valeurs de ddp qui sont, suivant le savoir savant, des potentiels donnés par Nernst et dépendent donc des concentrations.

On fait mesurer aux étudiants une tension et on la fait changer de signe grâce à une perturbation apportée au système qui provoque des changements de concentrations des entités formant ce système.

Avec cette situation, les étudiants sont mis face à une inversion de signe d'une ddp qui ne peut s'interpréter qu'en terme d'inversion de la réaction. Face à cette situation, nous nous proposons de voir si les étudiants vont chercher un autre modèle explicatif et s'ils vont abandonner le modèle issu de leurs conceptions sur l'irréversibilité.

Au cas où les étudiants ne vont pas revenir sur leurs conceptions, nous nous proposons de voir si l'analyse permet de comprendre comment ces étudiants vont argumenter l'inversion de la réaction et ce qui leur a manqué pour qu'ils adhèrent au modèle de Nernst.

Pour que les étudiants prennent conscience de leur conception sur l'irréversibilité

d'une réaction chimique, qui n'est en fait qu'une conséquence de l'usage abusif du modèle des potentiels de référence, nous rappelons que nous avons construit l'expérience 2 avec un milieu générateur d'anomalie : l'inversion de la ddp. Cette dernière devrait être expliquée, selon le savoir savant, par l'inversion de la réaction chimique.

Nous estimons que cette anomalie va créer un conflit entre les étudiants, ce qui va faciliter l'explicitation de leurs conceptions et de leurs modes de raisonnement. L'interaction discursive établie entre les monômes pourrait alors aider au dépassement du conflit et éventuellement à un changement conceptuel. Chi (1991) a noté que la reconnaissance des anomalies est le moment crucial du processus du changement conceptuel. En comprenant de quelles manières ces anomalies sont vues, et de quelles façons elles deviennent un conflit ou une crise de connaissance nous pouvons voir de quelles manière ce type de situation permet un changement conceptuel possible.

D'après Mortimer & Manchado (2000), l'évidence du succès des stratégies d'enseignement basées sur le conflit cognitif semble ne pas dépendre seulement de la conception des activités pour les étudiants, mais aussi des associations logiques impliquées dans l'élaboration des contradictions.

Faisant référence au cadre théorique dans le monde perceptible, cette situation met en jeu des objets perceptibles qui sont : la pile, le voltmètre, l'acide chlorhydrique, une mesure qui est celle de la ddp, un événement perceptible qui est la formation d'un dépôt et l'inversion de la ddp. Dans le monde reconstruit, cette situation met aussi en jeu des objets reconstruits qui sont les entités présentes, et des événements reconstruits qui sont le changement de la concentration des ions Ag^+ et l'inversion de la réaction chimique.

La première question permet de voir si les étudiants relient entre la mesure (la valeur lue sur le voltmètre) et la grandeur (potentiel qui est donné par le modèle de Nernst).

A travers la deuxième et la troisième question, nous nous proposons de voir si les étudiants sont capables de relier l'évènement changement de concentration des ions Ag^+ à l'inversion de la différence de potentiel et au changement du sens d'évolution du système par rapport à l'expérience 1. Pour ce faire, les étudiants vont avoir besoin d'utiliser un modèle pour interpréter l'inversion de la réaction chimique.

Faisant référence au savoir savant, il s'agit du modèle de Nernst, les étudiants doivent alors émettre une hypothèse sur les concentrations et leur importance dans l'évolution d'un système chimique et doivent aussi faire référence aux conditions de l'expérience c'est-à-dire à la température et à la pression.

Tenant compte des conceptions des étudiants, nous prévoyons que certains élèves pourront appliquer le modèle prédictif E° sans tenir compte des caractéristiques du système, ce qui ne leur permettra pas d'expliquer l'inversion de la réaction.

Donc l'objectif de notre analyse est de répondre aux questions suivantes :

- L'étudiant fait-il le lien entre la mesure de la différence de potentiel et la grandeur centrale E ?
- Le changement du signe de la pile implique-t-il chez l'étudiant un changement du sens de la réaction ?

- Par quoi l'étudiant remplace-t-il le modèle de Nernst ? quelles connaissances (modèles, systèmes explicatifs...) l'étudiant met-il en jeu et à quels niveaux de modélisation fait-il référence lors de l'inversion d'une réaction chimique ?

II.1.Résumé des dialogues des étudiants

Afin d'analyser globalement les activités des quatre binômes nous avons procédé par un découpage de plusieurs niveaux. Ce découpage est similaire à celui adopté par Buty (2000); les niveaux du découpage (situations, phases et étapes) sont présentés précédemment.

A priori et avant les séances, nous avons défini quatre phases pour l'expérience 2 de la manière suivante :

- une première phase de reconnaissance du matériel, de lecture des données et de réalisation de l'expérience demandée
- les trois autres phases sont des réponses aux trois questions posées.

D'après l'analyse des transcriptions, les quatre tableaux ci-dessous résument pour les quatre binômes les quatre phases de l'activité. L'intégralité des transcriptions pour les quatre binômes enregistrés est donnée en annexes (Annexes C).

Tableau 18 : Les phases et les étapes de l'expérience2 (situation A1) pour le binôme J&C

Phase	N° d'interventions du début et de la fin de chaque phase	Etapes de chaque phase de l'activité
1	1 - 42	Reconnaissance du matériel Lecture des données Réalisation de l'expérience demandée repérage de la baisse de la ddp après l'ajout d'HCl
2	43 - 95	Réponse à la question1 : Explication de la conduction à l'intérieur de la pile en se référant au courant d'électrons Repérage et identification du précipité (blanc) comme étant du AgCl Ecriture des demi-équations dans chaque demi-pile Calcul théorique de la ddp à partir des potentiels de référence Retour sur l'interprétation de la ddp de la pile avant l'ajout de HCl et l'usage du modèle des E° Interprétation de la diminution de la ddp par la diminution du nombre de Ag ⁺
3	96 - 112	Réponse à la question2 : Ajout de la quantité d'HCl Interprétation théorique de la ddp négative par la neutralisation de tous les ions Ag ⁺ et par l'impossibilité de la réaction Observation du signe négatif de la ddp
4	112 - 122	Réponses à la question 3 : Mise en jeu des mêmes couples redox Neutralisation d'ions par d'autres ions dans les deux expériences

Tableau 19 : Les phases et les étapes de l'expérience2 (situation A1) pour le binôme S&A

Partie D : Analyse des données recueillies à propos de l'usage, par les étudiants, des modèles de prédiction de l'évolution d'un système oxydoréducteur

Phase	N° d'interventions du début et de la fin de chaque phase	Etapes de chaque phase de l'activité
1	1 - 21	Reconnaissance du matériel Lecture des données Réalisation de l'expérience demandée Repérage de la baisse de la ddp après l'ajout d'HCl et de la formation d'un précipité blanc
2	22 - 25	Réponse à la question1 : Interprétation de la baisse de la ddp par la diminution de la concentration des ions Ag^+ et des électrons à l'intérieur de la pile Explication de la conduction à l'intérieur de la pile en se référant au courant d'électrons
3	26 - 37	Réponse à la question2 : Interrogation sur le signe de la différence de potentiel sans constatation et évocation de l'inversion de la ddp Référence à l'équation de la réaction Référence à la circulation des électrons à l'intérieur de la pile
4	38 - 49	Réponses à la question 3 : Correspondance par échange d'électrons Correspondance par le fait qu'il s'agit d'une réaction d'oxydoréduction Argumentation du signe positif de la ddp avant l'ajout d'HCl à partir du pouvoir réducteur sans évocation l'inversion de signe de la ddp

Tableau 20 : Les phases et les étapes de l'expérience2 (situation A1) pour le binôme Y&B

Phase	N° d'interventions du début et de la fin de chaque phase	Etapes de chaque phases de l'activité
1	1 - 19	Reconnaissance du matériel Lecture des données Réalisation de l'expérience demandée Repérage de la baisse de la ddp jusqu'à la valeur 0 après l'ajout d'HCl
2	20 - 41	Réponse à la question1 : Identification du précipité (blanc) comme étant du AgCl Interprétation de l'effet de la précipitation de AgCl : la concentration de Ag^+ est nulle et par conséquent la ddp est nulle Explication du lien entre la ddp et la formule de Nernst Ajout de HCl et inversion du signe de la ddp
3	42 - 129	Réponse à la question2 : Ecriture des demi-équations dans chaque demi-pile Interprétation théorique de la ddp négative par la neutralisation de tous les ions Ag^+ et par l'impossibilité de la réaction Apparition d'un nouveau couple AgCl/Ag Application de la loi de Nernst, pour les couples Ag^+/Ag et Cu^{2+}/Cu , pour le calcul théorique de la ddp; ce qui donne une ddp positive due à une erreur de signe ($ddp = E_g - E_d$) Recours aux demi-équations relatives aux couples AgCl/ Ag et Cu^{2+}/Cu pour expliquer la ddp négative Reprise de l'équation de Nernst ce qui donne une ddp négative

Tableau 21 : Les phases et les étapes de l'expérience2 (situation A1) pour le binôme K&F

Phase	N° d'interventions du début et de la fin de chaque phase	Etapes de chaque phase de l'activité
1	1 - 12	Reconnaissance du matériel Lecture des données Réalisation de l'expérience demandée repérage de la baisse de la ddp après l'ajout d'HCl et de la formation d'un précipité blanc
2	13 - 37	Réponses aux questions 1 et 2 : Rajout d'HCl, ce qui donne une inversion du signe de la ddp Constatation qu'il y a eu inversion de la polarisation de la pile et inversion de la réaction chimique Identification du précipité (blanc) comme étant du AgCl Référence à l'équation de Nernst pour expliquer qualitativement le signe négatif de la ddp
3	38 - 57	Réponse à la question 3 : Constatation que contrairement à la conclusion faite pour l'expérience 1, la réaction ne peut pas se passer dans le sens inverse, K et F concluent que si la concentration des Ag ⁺ change, la réaction peut se passer dans le sens contraire Recours à l'équation de Nernst pour argumenter l'inversion de la ddp Conclusion que la correspondance avec l'expérience 1 réside dans le fait qu'il y a inversion de la réaction

D'après ces phases caractérisant l'expérience 2 de la situation A2, nous remarquons que pour deux parmi quatre binômes (binômes : J&C et Y&B) la difficulté principale qu'ils ont rencontré réside tout d'abord dans la constatation qu'il y a eu une inversion de la ddp puis dans l'argumentation de l'inversion.

Le binôme S&A n'a pas pu observer l'inversion de la ddp et ceci peut être expliqué par le faible ajout d'HCl ce qui a fait seulement baisser la ddp.

Pour argumenter l'inversion de la ddp, les binômes J&C et Y&B se basent sur l'impossibilité de la réaction à cause de la neutralisation des ions Ag⁺. Le binôme K&F est le seul qui a relié l'inversion de la ddp à l'inversion de la réaction.

II.2. Analyse des activités cognitives des étudiants

Dans cette partie nous nous proposons d'analyser les interventions des apprenants devant une ddp qui s'inverse. Pour analyser les interventions les plus illustratives des démarches des apprenants, nous nous limitons aux passages impliquant différents niveaux de modélisation. Leur analyse repose sur les liens que font les apprenants entre ces niveaux.

L'objectif est d'analyser l'activité cognitive de l'apprenant lorsqu'il est mis face à une ddp qui s'inverse. L'inversion de la ddp n'est autre, d'après le savoir savant, qu'une inversion de la réaction. Cette inversion qui traduit une évolution du système chimique dans le sens contraire prévu par le modèle des potentiels de référence, devrait remettre

en question ce modèle, et pourrait faire émerger les connaissances et les systèmes explicatifs de l'apprenant.

L'analyse de l'inversion de la réaction chimique sera faite à partir de la deuxième et de la troisième question :

2) Comment peut-on interpréter son signe ?

3) Quelle correspondance peut-on faire avec l'expérience 1?

Nous nous proposons d'analyser les interventions des apprenants lorsqu'ils répondent aux questions 2 et 3 afin de voir de quelle manière ils interprètent une inversion de la ddp et s'ils relient cette inversion à l'inversion de l'évolution du système chimique.

L'analyse de ces propositions repose sur le repérage des stratégies et des cheminements des apprenants et aussi sur l'explicitation des niveaux de modélisations mis en œuvre par ces apprenants et des liens qu'ils font entre ces niveaux.

D'après les transcriptions et les tableaux résumant les dialogues des binômes, notre analyse sera focalisée sur les deux plus importantes activités:

· **Activité A :**

Lors de l'activité A, les binômes prennent conscience de l'inversion de la ddp. Cette inversion peut être reliée selon les binômes à l'inversion de la réaction. Cela peut être immédiat, ou requérir toute une construction qui, éventuellement, n'aboutit pas.

· **Activité B :**

Lors de l'activité B, les binômes qui ont déjà pris conscience de l'existence de l'inversion de la ddp et non pas forcément de la réversibilité du système chimique, cherchent à traduire l'idée d'inversion avec les éléments de la situation.

II.2.1. Activité A : repérage de l'inversion de la ddp

Binôme J&C

Baisse de la ddp

J96 : *je crois qu'on avait pas vu qu'on avait pas mis assez de HCl (E, O) je crois que si on ajoute encore un peu de HCl (E, O) y aurait une autre variation la ddp peut être nulle elle va être (E, Mes)*

(E, O, E, O, E, Mes) □ Le binôme J&C n'est pas arrivé à observer la variation de la ddp. Ceci va le pousser à faire un cheminement théorique qui lui permet de rendre compte de cette variation.

Relation entre ddp, quantité de Ag^+ et réaction redox

J-C105-106 : *plus les ions Ag^+ diminuent et donc plus la réaction est plus possible*

(é, é)

J constate que la ddp a un signe négatif

J 108 : *ce qui nous donne le potentiel de cette demi-pile est nul le potentiel de celle ci*

reste constant ce qui nous donne une mesure de ddp qui est négative qu'en penses tu (?) /

(G, O, Mes, G, O, Mes, Th)

j110 : ...il n'y a pas de réaction possible pour cette pile je crois que le signe négatif parce que ont voit bien qu'il est au dessous de zéro...

(é, O, Mes)

Pour le binôme J&C, l'inversion n'a pas été observée, bien qu'elle soit présente . Il en a pris conscience par un raisonnement logique. J arrive au fait que la ddp doit être négative (J108), et en retournant voir la valeur il constate effectivement qu'elle est négative (J110).

Binôme S&A

S&A n'ont pas ajouté suffisamment d'acide, et n'ont pas pu observer l'inversion du potentiel de la pile. Ils repèrent ainsi la diminution du potentiel :

Repérage de la diminution de la ddp S 22 : *ça a diminué* (E)

Binôme Y&B

Y-41 : (...) on remarque que la que la différence de potentiel entre entre les deux entre les deux électrodes diminue (E) peut être si on ajoutait un peu plus (E) ça va s'inverser (E) (?) / oui ça s'est inversé (E) ça donne donc la différence de potentiel entre les deux compartiments s'est inversée(E)

(E, E, E, E, E)

Binôme K&F

K-18 : on ajoute encore (E) / on a en fait la différence de potentiel entre les deux bornes change de signe (E)

(E, E)

Tableau 22 : Niveaux de connaissances mis en jeu dans l'activité A par les quatre binômes

Binôme	Niveaux de connaissance mis en jeu
J&C	(E, O, E, O, E, Mes) (é, é) (G, O, Mes, G, O, Mes, t) (é, O, Mes)
S&A	(E)
Y&B	(E, E, E, E, E)
K&F	(E)

Commentaires :

Pour le repérage de l'inversion ou de la baisse de la ddp, seul le binôme J&C diffère des autres et ceci peut être constaté à partir des niveaux et des relations mis en jeu.

Alors que les binômes S&A, Y&B et K&F ne font recours qu'au niveau des évènements perceptibles qui relèvent de la nature de la question posée, le binôme J&C s'appui sur un raisonnement théorique. En effet ce binôme n'arrive pas à observer l'inversion mais à partir d'une construction théorique et de la mobilisation des niveaux de

l'événement reconstruit (é), de la grandeur (G) et de la théorie (t), qu'il parvient à conclure que la ddp s'est inversée ; et ainsi l'observation vient confirmer le raisonnement théorique. Cette mise en relation entre le niveau perceptible et les niveaux théoriques n'a pas pu être observée pour les trois autres binômes pour lesquels la baisse de la ddp n'est pas directement liée à l'inversion de l'évolution du système chimique.

Ceci nous mène à poser la question suivante : quels modèles vont mobiliser les apprenants pour expliquer l'inversion de la ddp ?

II.2.2. Activité B : argumentation de l'inversion de la ddp

D'après l'analyse a priori et pour interpréter la valeur de la ddp après avoir apporté une perturbation au système (Mes, E), les étudiants doivent articuler la concentration des ions Ag^+ et l'équation de Nernst : lien (o, G, t). Ensuite ils doivent établir le lien entre le potentiel du système, la ddp mesurée et l'évolution du système ; il s'agit du lien (G, Mes, é).

Pour fournir une réponse correcte du côté du savoir savant, les étudiants doivent articuler les niveaux : (o, G, t, G, Mes, é).

Binôme J&C

J 110 : *moi je pense que si on neutralise les ions Ag^+ (é) l'équation de la réaction qu'on avait écrit précédemment c'est à dire $Cu^{2+} + 2Ag$ nous donne $Cu + 2 Ag^+$ (é) ne doit plus être possible (p)*

La mise en relation interne du niveau événement reconstruit : (é, é, p) traduit une interprétation et une conclusion qui aboutit au fait que la ddp s'inverse n'est pas que la réaction s'inverse, mais qu'elle ne se passe plus.

Tableau 23 : Niveaux de connaissances mis en jeu dans l'activité B par le binôme J&C

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par J&C
(o, G, t, G, Mes, é)	(é, é, p)

En comparant l'analyse à priori à la réponse du binôme J&C, nous remarquons que J&C n'essayent pas d'interpréter la réaction chimique en s'appuyant sur le niveau théorique mais ils articulent simplement la réaction avec le niveau propriété. Le lien entre l'événement réaction chimique et la propriété de la réaction chimique empêche J&C d'expliquer l'évolution du système chimique qui nécessite une articulation plus riches de différents niveaux.

Binôme S & A

Pour S&A la diminution de la ddp est interprétée en se référant à la conduction électrolytique :

S 22 : *... alors c'est clair je crois il y a un précipité blanc (E) donc on a moins d'ions Ag^+ le nombre de Ag^+ a diminué (é) donc il y a un nombre (...) le nombre d'électrons qui traversent le pont salin a diminué (é, t) c'est ça (?)*

Les niveaux mis en relation sont les suivants : **(E, é, é, t)** cette mise en relation des niveaux E et é traduit un raisonnement et une interprétation de la diminution de la ddp par la diminution du nombre de Ag^+ et par la diminution du nombre d'électrons qui traversent le pont salin.

A 23-25 : *on a la concentration de Ag^+ a diminué (G, é) parce qu'il y a un précipité (O) quand on fait diminuer la concentration de Ag^+ (é) il n'y a plus il n'y a plus d'acide d'ions (é) comme au juste début on n'avait plus d'ions dans la solution (é) qui transportaient les les charges entre les deux solutions (t, é) donc la concentration a diminué donc la concentration a diminué (G, é) d'ou la diminution de la différence de potentiel entre les deux lames(E)*

Les niveaux mis en relation sont les suivants : **(G, é, O, é, é, é, t, é, G, é, E)**

Tableau 24 : Niveaux de connaissances mis en jeu dans l'activité B par le binôme S&A

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par S&A
(o, G, t, G, Mes, é)	(E, é, é, t) (G, é, O, é, é, é, t, é, G, é, E)

L'analyse a priori montre que la réponse qui s'approche le plus de la réponse correcte est celle de A modélisée par (G, é, O, é, é, é, t, é, G, é, E). Les niveaux et les relations mis en jeu par A traduisent un raisonnement théorique qui relie la baisse de concentration des ions Ag^+ à la diminution de la ddp. Mais la relation entre la concentration des ions Ag^+ et la ddp n'est pas explicitée à l'aide du modèle de Nernst, le niveau théorie apparaît pour faire référence à la conduction électrolytique.

Pour fournir une réponse correcte selon le savoir savant, il faut expliciter que la ddp n'est autre que le potentiel du système chimique obéissant au modèle de Nernst et intimement lié à la variation des concentrations. Pour expliquer la baisse de la ddp, A évoque la grandeur concentration et ne la relie pas à l'équation de Nernst mais plutôt à la conduction. Ce raisonnement prend en compte les mêmes niveaux de modélisation qui doivent être mobilisés pour fournir une réponse correcte.

Binôme Y & B

Pour ce binôme le signe négatif de la ddp est observé, mais on va voir que les étudiants n'arrivent pas à accepter l'idée que la réaction puisse se passer dans l'autre sens. Nous retrouvons alors la réponse que la réaction ne se passe plus.

Le cheminement global relatif à la phase d'interprétation est le suivant :

Disparition de Ag^+ , la réaction n'est plus possible

Y 53 : *donc si on si on si on si on a comment dire tué tous les Ag^+ dans le compartiment de droite (é) donc avec la précipitation (E) ça va donner donc il n'y a plus de réaction (é)*

(é, E, é) □ Y conçoit qu'il n'y a plus de réaction après avoir « tuer » tous les ions Ag^+ .

Ce raisonnement est analogue à celui de J&C pour lequel la réaction « ne doit plus être possible ». Le raisonnement de Y se base sur des événements qu'il ne relie pas au

niveau théorique.

Nouvelle différence de potentiel et nouveau couple qui entre en jeu

Y 53 : ...donc c'est quoi la nouvelle différence de potentiel qui va qu'on va lire sur le voltmètre ?(G, Mes) donc c'est la différence de potentiel entre entre donc un nouveau couple va entrer en jeu un nouveau couple(G, o) par ce que tout le Ag^+ dans le compartiment de droite est devenu minoritaire(o, O, é, p) donc le deuxième couple c'est $AgCl/AgCl$ est (o) (...)

Les niveaux mis en relation sont les suivants : (G, Mes, G, o, o, O, é, p, o)

Pour expliquer la ddp négative, Y met en relation cette grandeur avec un objet reconstruit qui est le nouveau couple $AgCl/Ag$. Ce nouveau couple est mis en jeu par Y pour satisfaire au modèle des potentiels de référence: au lieu de conserver le même couple et de faire évoluer le modèle utilisé vers le modèle de Nernst, Y change de couple pour positionner un nouveau E° sur l'échelle des potentiels de référence et conserver le modèle le plus pauvre.

- Loi de Nernst et interprétation de la ddp négative

B 54 : on applique la loi de Nernst à cette pile Ag^+ est devenu minoritaire (t, o, o, p)

Après avoir interprété la ddp négative par la neutralisation de tous les ions Ag^+ et par l'impossibilité de la réaction, et après avoir mis en jeu un nouveau couple pour faire fonctionner le modèle des potentiels de référence, Y et B appliquent la loi de Nernst pour les couples Ag^+/Ag et Cu^{2+}/Cu , afin de calculer théoriquement la ddp ; ce qui donne une valeur positive due à une erreur de signe (ddp = $E_g - E_d$)

Suite à ces étapes Y&B font recours aux demi équations relatives aux couples $AgCl/Ag$ et Cu^{2+}/Cu pour expliquer la ddp négative ; ils reprennent alors l'équation de Nernst ce qui donne une ddp négative.

Y 125 : ouai donc E droite moins E de gauche c'était après on a diminué la concentration de Ag^+ donc ce rapport a augmenté et donc le logarithme a augmenté et donc le 0,32 la différence est devenu négative et c'est tout (t, Mnum)

Même en faisant recours à la théorie et en interprétant l'inversion de la ddp à l'aide du modèle de Nernst, Y et B constatent que l'équation de Nernst donne une ddp négative mais n'avancent pas sur cette constatation et n'arrivent pas au fait que la réaction s'inverse.

Tableau 25 : Niveaux de connaissances mis en jeu dans l'activité B par le binôme Y&B

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par Y&B
(o, G, t, G, Mes, é)	(é, E, é) (G, Mes, G, o, o, O, é, p, o) (t, o, o, p) (t, Mnum)

Pour les différentes étapes du raisonnement, nous remarquons que Y&B ont mobilisé un nombre important de niveaux de modélisation et ont fourni un effort cognitif pour

expliquer le signe négatif de la ddp. Au début du raisonnement, Y se base sur des événements (é, E, é) qu'il ne relie pas au niveau théorique. Par la suite Y fait le lien (G, Mes, G, o, o, O, é, p, o), en se référant à l'analyse a priori, il substitue le niveau théorique correspondant à l'équation de Nernst par l'objet reconstruit : le couple AgCl/Ag. D'après le lien (t, Mnum), nous remarquons que Y utilise l'équation de Nernst seulement pour faire un calcul numérique. A travers l'utilisation du modèle de Nernst, l'objectif de Y&B est de justifier le signe négatif de la ddp, mais ils n'arrivent pas à interpréter ce que représente l'inversion du signe de la ddp au niveau de la réaction chimique correspondante.

Binôme K&F

Contrairement aux trois autres binômes, ce quatrième binôme interprète l'inversion de la ddp par le fait que la réaction chimique « naturelle » s'inverse.

Cette interprétation s'est effectuée après le cheminement suivant :

Inversion de la polarisation de la pile et de la réaction chimique

K, F-24-25 : *-0,05 volts on a vu qu'on a pu maanatha (c'es-à-dire) inverser la polarisation de la pile donc inverser la réaction chimique naturelle (Mes, é, é)*

K, F-27-30 : *précipitation précipitation transformation de Ag+ Ag+/ Ag+ va diminuer ce qui va inverser la polarisation de la pile (E, é, o, é, é)*

K&F s'appuient principalement sur les évènements pour montrer qu'il y a eu inversion de la polarisation de la pile ; ils n'explicitent pas de modèles théorique mais ils articulent un ensemble d'évènements. Nous pouvons constater que pour K&F le raisonnement commence par l'articulation d'un ensemble d'évènements.

Application de la loi de Nernst

F-31 : *on peut écrire que puisque le potentiel de chaque électrode c'est $E + 0,06/n$ fois la concentration fois l'activité de l'oxydant sur l'activité du réducteur et on remarque que par exemple pour l'électrode d'argent que c'est que c'est la concentration baisse de l'argent le potentiel va baisser (t, o, G, é, é)*

K-38 : *on va revenir à l'expérience vers l'expérience on a dit que la réaction ne peut pas se faire dans le sens inverse alors que ici si on change les concentrations on diminue la concentration de Ag+ on remarque que la réaction peut se faire dans le sens c'est à dire le déplacement des électrons peut se faire dans le sens inverse (é, é, é, é, é)*

K 56 : *donc si E1 diminue et E2 reste constant on remarque que les bornes de la pile pourront s'inverser donc c'est bien il y a bien correspondance avec l'expérience (t, é)*

Tableau 26 : Niveaux de connaissances mis en jeu dans l'activité B par le binôme K&F

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par K&F
(o, G, t, G, Mes, é)	(Mes, é, é) (E, é, o, é, é) (t, o, G, é, é) (é, é, é, é, é) (t, é)

D'après l'analyse a priori nous remarquons que les niveaux nécessaires pour fournir la bonne réponse sont présents. K&F mobilisent en plus des niveaux d'événement pour expliquer et interpréter l'inversion de la ddp et aussi l'inversion de la réaction et de la conduction. Contrairement aux trois autres, ce quatrième binôme interprète l'inversion de la ddp par le fait que la réaction chimique « *naturelle* » s'inverse. Mais l'événement inversion de la réaction n'est interprétée qu'après un cheminement et une réflexion théorique à partir de la loi de Nernst et en faisant aussi recours à la précipitation et à la conduction. Le paramètre qui régit l'inversion de la réaction chimique dans ce cas (la concentration) est alors explicité.

II.3.Conclusion de l'expérience 2

D'après l'analyse des activités des apprenants relatives à l'expérience 2, nous remarquons que la première difficulté réside dans la relation de la ddp (ou de la tension) mesurée au potentiel du système chimique.

Les binômes S&A, Y&B et K&F ne font recours qu'au niveau des événements perceptibles (E) lorsqu'il s'agit de mesurer une ddp. Ils n'arrivent pas à relier directement cette mesure à l'évolution du système chimique. Ceci peut être dû à la nature de la question qui n'évoque qu'un événement perceptible et de ce fait les étudiants ne mobilisent pratiquement que les événements perceptibles. Aussi nous pouvons constater que lorsqu'une question n'explicité pas directement une grandeur ou un modèle sur lequel elle s'appuie, l'étudiant n'évoque pas la grandeur ou le modèle qui est implicitement mis en jeu par cette question.

Ce n'est qu'en répondant à la deuxième question, portant sur le signe de la ddp, que les apprenants commencent à chercher des explications concernant la ddp mesurée.

L'interprétation de la ddp mesurée et de son signe, est caractérisée par la mise en relation des niveaux reconstruits et des niveaux théoriques, mais, bien que les niveaux qui peuvent mener à la bonne interprétation existent, ils n'ont pas permis aux apprenants de dégager les interprétations attendues.

En effet deux binômes (J&C et Y&B) parmi les quatre, ont conclu que si la ddp est négative alors la réaction ne se passe plus. Les étudiants n'arrivent pas à accepter l'idée que la réaction puisse se passer dans l'autre sens. Ils affirment plutôt que la réaction ne se passe plus, ce qui leur permet de contourner la réversibilité de la réaction chimique.

Nous constatons qu'il y a clairement un refus d'imaginer la réversibilité de la réaction chimique, car pour le binôme Y&B même après vérification du signe négatif de la ddp par l'équation de Nernst et même quand il a explicité le niveau (G) relatif à la concentration, il n'est pas revenu sur sa conclusion que la réaction ne peut pas se passer dans le sens contraire.

Pour le quatrième binôme qui est arrivé à conclure que la réaction s'est inversée, il interprète cette inversion comme étant une anomalie, car il s'agit de l'inversion de la réaction « *naturelle* ». Ceci nous amène à constater que l'inversion de la réaction conclue par le binôme a constitué pour lui un obstacle qui l'a privé de s'appuyer sur un modèle pour fournir une explication à cette inversion. L'inversion de la réaction chimique apparaît

alors pour ce binôme, le seuil devant lequel s'arrête toute explication chimique rendant compte de cette évolution du système.

En conclusion nous pouvons dire que pour interpréter l'inversion d'une ddp, deux niveaux de difficultés se présentent :

Le premier niveau de difficulté étant l'articulation de l'inversion de la ddp avec l'évolution du système chimique.

Le second niveau de difficulté étant l'interprétation de l'évolution du système chimique en faisant recours à l'équation de Nernst et en mobilisant la grandeur : concentration.

III. Conclusion de la situation A1

D'après l'analyse de la situation A1 nous avons remarqué que, bien que le texte des activités (expérience 1 et expérience 2) demande d'abord une observation (monde perceptible) puis une interprétation, les étudiants se lancent directement dans le monde reconstruit avant même d'identifier expérimentalement la nature des produits des réactions. Pour l'expérience 1 et pour identifier le dépôt d'argent formé, J&C ne se sont pas appuyés sur les observations expérimentales mais ils ont appliqué en premier lieu le modèle des couples de charges.

Pour rendre compte des observations expérimentales, les apprenants se mettent directement dans le monde reconstruit et guident les observations. Pour l'expérience 2 et pour les binômes J&C et Y&B, le signe négatif de la ddp est observé, mais nous avons vu que les étudiants n'arrivent pas à accepter l'idée que la réaction puisse se passer dans l'autre sens. Ils répondent alors que la réaction ne se passe plus.

Afin d'interpréter les observations et de donner un sens aux événements observés, nous avons aussi constaté que les étudiants partent directement de l'écriture de l'équation de la réaction ; il s'agit alors du modèle de la réaction directe pour lequel le raisonnement commence par l'écriture de l'équation de la réaction (Van Driel, 1998). En effet pour prévoir si la réaction inverse peut se passer, J&C commencent par l'écriture de l'équation de la réaction, ils la confirment par des observations expérimentales prévues et c'est par la suite qu'ils se demandent si la réaction qu'ils ont décrite est possible :

J 51 : *les ions Cu^{2+} vont réagir avec les ions avec les Ag pour donner Ag^+*

J, C-52-53 : *c'est à dire on va avoir la lame de la lame d'argent c'est la source des ions Ag et la solution va nous donner des ions Cu^{2+} ce qui donnerait la formation d'une (...) d'une couche sur la lame d'argent qui sera de couleur bleu due aux ions cuivre*

C 54 : *mais **est-ce qu'elle est possible cette réaction** (?) je me demande si elle est possible (?)*

Pour interpréter les réactions chimiques qui se sont déroulées, nous avons repéré pour les différents binômes, l'usage intensif des pouvoirs oxydants, des pouvoirs réducteurs et du modèle des potentiels de référence qui s'appuie aussi sur la comparaison des potentiels E° . Nous avons aussi rencontré d'autres argumentations telles que le transfert électronique et la conduction sur les quels se sont appuyés les

binômes S&A et K&F pour interpréter l'expérience 2.

Les étudiants essayent par la suite de donner un sens à cette équation bilan dans le monde perceptible; ils donnent alors plus de précisions et essayent de relier l'équation de la réaction à ce qui a été observé expérimentalement.

Face à des situations où la réaction se passe dans le sens inverse de celui qui a été prévu, nous avons remarqué que bien que les étudiants voient qu'il se passe un événement, ils répondent instantanément qu'il ne se passe rien. Ceci peut être déduit du sens déjà défini dans la réponse ultérieure, ou être dû à une méta connaissance qui s'appuie sur l'irréversibilité de la réaction chimique. Cette irréversibilité de la réaction chimique n'est qu'une déduction faite à partir du modèle des potentiels de référence. En fait, ce modèle ne prend pas en compte la réversibilité d'une réaction chimique, car il ne prévoit qu'un seul sens de l'évolution d'un système chimique.

Nous remarquons aussi que, face à une situation où on fait mesurer aux étudiants une tension et on la fait changer de signe grâce à une perturbation apportée au système, les apprenants ne comprennent pas que la réaction s'est inversée.

Comme application à l'enseignement, nous proposons l'explicitation du lien entre la mesure de la différence de potentiel et la grandeur centrale E . Ce lien devrait être fait aussi fréquemment que possible car la relation entre la mesure de la tension et la grandeur prédictive E n'est pas évidente pour les apprenants ; en effet, le fait que la ddp devienne négative est observé, mais les étudiants n'arrivent pas à accepter l'idée que la réaction puisse se passer dans l'autre sens.

Aussi pour aboutir à une meilleure efficacité de l'usage des modèles prédictifs, les situations expérimentales, mettant en jeu un système oxydoréducteur auquel on apporte une perturbation qui fait inverser son évolution, pourraient aider les apprenants à expliciter et à remettre en question leurs modèles prédictifs. En effet ce type de situation pourrait aider l'apprenant à se rendre compte que le modèle des potentiels de référence n'est pas valable à n'importe quelles conditions mais qu'ils y a d'autres paramètres qui déterminent l'évolution du système et qui peuvent même inverser cette évolution.

Une étude similaire a été menée à propos de la compréhension des étudiants de la nature descriptive et prédictive des modèles d'enseignement en chimie organique. Treagust et al (2004) ont montré que la majorité des étudiants impliqués dans leur étude ont une certaine compréhension de la nature descriptive des modèles d'enseignement mais leur compréhension de la nature prédictive était limitée, malgré leur expérience dans l'usage des variétés des représentations en classe.

A la lumière de leurs résultats , les auteurs suggèrent que les modèles d'enseignement doivent être utilisés pour prévoir, tester et évaluer les conceptions d'une manière similaire avec laquelle les scientifiques utilisent un modèle scientifique.

A partir des résultats de la situation A1 et des travaux de Treagust et al, nous proposons d'explicitier l'usage prédictif des modèles d'enseignement en utilisant les modèles pour répondre aux questions chimiques sans apprécier la valeur du modèle dans la détermination de la connaissance. Ces résultats impliquent que pour ces étudiants la compréhension théorique des modèles scientifiques n'est pas nécessairement reliée aux

applications pratiques du modèle d'enseignement.

Chapitre D3 : Résultats des Analyses des transcriptions des binômes pour la situation A2

Pour la situation A2, les étudiants sont mis en situation de prévoir l'évolution d'un système chimique faisant intervenir les deux couples redox I_2/I^- et Cu^{2+}/Cu^+ .

Pour répondre à la première et à la deuxième question, d'après l'analyse a priori et le savoir savant, on s'attend à ce que les étudiants prennent en compte les objets reconstruits, les entités I_2 , I^- , Cu^{2+} et Cu^+ , pour donner l'événement reconstruit qui est la réaction chimique. L'étudiant doit prévoir la possibilité de deux réactions inverses. S'il utilise le modèle de Nernst, il doit alors expliciter l'importance de la grandeur concentration dans la détermination du sens de l'évolution du système chimique.

En s'appuyant sur les conceptions des étudiants à propos de l'irréversibilité de la réaction chimique, nous prévoyons que la majorité des étudiants appliqueraient le modèle prédictif E° sans tenir compte des caractéristiques du système, notamment les concentrations des entités.

La troisième question de cette situation A2, demande aux étudiants de réaliser une expérience et d'établir l'équation chimique correspondante. Cette question met en jeu des objets perceptibles qui sont les solutions, des objets reconstruits qui sont les ions, un événement perceptible qui est la formation de la couleur brune et un événement reconstruit qui est la réaction chimique et qu'il faut interpréter.

Cette question suppose que les étudiants soient capables de donner la liste des objet-événements perceptibles, la liste des objets-événements reconstruits et d'émettre des hypothèses sur ce qui s'est formé, c'est à dire sur l'événement reconstruit.

Les étudiants vont alors avoir besoin d'utiliser un modèle pour déterminer la réaction chimique qui s'est déroulée.

En se référant à une réponse correcte du point de vue du savoir savant, les étudiants doivent mettre en œuvre :

- soit le domaine de stabilité dû à la précipitation
- soit l'équation de Nernst

Les étudiants pourraient alors émettre une hypothèse sur les concentrations et leur importance dans l'évolution d'un système chimique et établir des liens avec les concentrations.

En conclusion les étudiants doivent prendre des objets et des événements perceptibles qu'ils traduisent en objets reconstruits et qu'ils trouvent l'événement reconstruit qui est l'équation chimique grâce à un modèle qu'ils vont choisir. Nous nous proposons de voir si les étudiants ont pris en compte les bons objets et les bons

événements perceptibles et s'ils ont pris le bon modèle ?

A la fin de la troisième question, les étudiants confronteront leur prévision, que nous supposons faite à l'aide du modèle prédictif E° , avec les résultats qu'ils obtiendront.

Nous prévoyons qu'ils se trouveront devant une réaction qui évolue dans un sens inverse par rapport à ce qu'ils ont prévu. Nous nous proposons de voir comment les étudiants vont expliquer et argumenter le sens imprévu de la réaction, et nous nous proposons aussi de voir s'ils changeront de modèle prédictif.

I. Résumé des dialogues des étudiants

D'après l'analyse des transcriptions et à l'aide de notre cadre théorique, nous avons repéré les interventions pour lesquelles les étudiants mobilisent et articulent un nombre important de niveaux variés. Nous faisons l'hypothèse qu'en articulant différents niveaux de modélisation de notre cadre théorique, l'étudiant montre une activité cognitive riche et un moment déterminant de la résolution de la tâche proposée. En nous basant sur les interventions les plus riches en niveaux de modélisation et qui sont les plus illustratives de la démarche de l'étudiant, nous avons repéré les phases les plus importantes dans la résolution de la tâche proposée.

Afin d'analyser globalement les activités des quatre binômes nous avons procédé par un découpage de plusieurs niveaux. Ce découpage est similaire à celui adopté par Buty (2000) et les niveaux du découpage (situations, phases et étapes) ont été présentés précédemment.

A priori et avant les séances, nous avons défini six phases pour la situation A2 qui sont des phases de réponse aux six questions posées (questions : 1, 2, 3a, 3b, 3c, 3d)

Après avoir transcrit les dialogues des binômes nous nous sommes aperçus que les binômes peuvent traiter à la fois plusieurs questions, et ceci a été observé pour les questions 3a, 3b et 3c pour les 4 binômes. C'est pour cette raison que nous avons considéré que les réponses à ces questions peuvent constituer une seule phase.

D'après l'analyse des transcriptions, les quatre tableaux ci-dessous résument pour les quatre binômes les quatre phases de l'activité. L'intégralité des transcriptions pour les quatre binômes enregistrés est donnée en annexes (Annexes C).

Tableau 27: Les phases et les étapes de la situation A2 pour le binôme J&C

Phase	N° d'interventions du début et de la fin de chaque phase	Etapes de chaque phase de l'activité
1	1 - 23	Réponse à la question1 : Reconnaissance du matériel Lecture des données Réalisation d'une expérimentation non demandée pour répondre à la question1 Ecriture des demi-équations sans donner d'équation bilan
2	23 - 52	Réponse à la question2 : Prévion de l'évolution du système chimique par comparaison des pouvoirs réducteurs Recherche des potentiels de référence des couples Rappel de la règle du gamma Equilibrage de l'équation de la réaction et application de la règle du gamma
3	53 - 210	Réponses aux questions 3-a, 3-b et 3-c : Description des observations témoignant d'une réaction Constatation de l'incompatibilité de la réaction observée avec la prévision Identification des entités et des couples présents Vérification des potentiels de référence des couples Ecriture de l'équation de la réaction dans le sens inverse que prévu Interrogation sur la composition de l'iode iodé Supposition d'une réaction entre I_2 et Cu^{2+} Simplification de la règle du gamma : il suffit d'avoir un oxydant et un réducteur pour que la réaction se passe Réalisation d'expérimentation pour la vérification de la composition de l'iode iodé Supposition d'existence d'un couple I_3^- / I^- dans l'iode iodé Conclusion que c'est la réaction inverse qui s'est réellement déroulée et écriture de l'équation correspondante Confirmation par les observations expérimentales Explicitation et usage des lois d'équilibrage
4	211 - 215	Réponse à la question 3d : Conclusion que la réaction qui s'est déroulée est incompatible avec la réaction prévue sans pouvoir fournir une explication

Tableau 28: Les phases et les étapes de la situation A2 pour le binôme S&A

Phase	N° d'interventions du début et de la fin de chaque phase	Etapes de chaque phases de l'activité
1	1 - 9	Réponse à la question1 : Lecture des données Identification des couples et écriture des demi-équations Ecriture de l'équation bilan (dans un sens contraire que celui donné par le modèle des potentiels de référence) sans explicitation du modèle utilisé
2	10 - 36	Réponse à la question2 : Prévion de l'évolution du système chimique à partir du modèle « des pouvoirs réducteurs » ou de la force réductrice Recherche des pouvoirs réducteurs à partir des potentiels de référence des couples (confusion entre pouvoir réducteur et potentiel de référence) ce qui donne une réaction inverse que celle prévue à partir des potentiels de référence
3	37 - 89	Réponses aux questions 3-a, 3-b et 3-c : Réalisation de l'expérience et observation Constatation qu'il n'y a pas de réaction Répétition de l'expérience et observation Conclusion qu'il y a eu une réaction Ecriture de l'équation de la réaction dans le sens prévu
4	90 - 98	Réponse à la questions 3-d : Conclusion que les résultats expérimentaux confirment la prévision théorique

Tableau 29: Les phases et les étapes de la situation A2 pour le binôme Y&B

Partie D : Analyse des données recueillies à propos de l'usage, par les étudiants, des modèles de prédiction de l'évolution d'un système oxydoréducteur

Phase	N° d'interventions du début et de la fin de chaque phase	Etapes de chaque phase de l'activité
1	1 - 18	Réponse à la question 1 : Lecture des données bilan des couples présents Classement des couples selon le pouvoir oxydant Ecriture de l'équation bilan selon le modèle des potentiels de référence
2	19 - 20	Réponse à la question 2 : Prévion de l'évolution du système chimique à partir du modèle des potentiels de référence
3	21 - 46	Réponses aux questions 3-a, 3-b et 3-c: Réalisation de l'expérience et observation Constatation que s'est la réaction inverse qui s'est passée Vérification des potentiels de référence pour argumenter le sens de la réaction Evocation de l'effet de la concentration sur l'évolution d'un système chimique Conclusion que c'est la réaction inverse qui s'est réellement déroulé
4	47 - 51	Réponse à la question 3-d : Tentative d'explication du sens de la réaction à partir de l'influence des concentrations mais sans explicitation du modèle

Tableau 30: Les phases et les étapes de la situation A2 pour le binôme K&F

Phase	N° d'interventions du début et de la fin de chaque phase	Étapes de chaque phase de l'activité
1	1 - 15	Réponse à la question 1 : Lecture des données Ecriture de deux équations bilan dans deux sens inverses
2	15 - 39	Réponse à la question 2 : Prévion de l'évolution du système chimique à partir du modèle des potentiels de référence Remarque sur l'influence des concentrations sur l'évolution d'un système chimique (constatation à partir de la situation A1)
3	40 - 50	Réponses aux questions 3-a, 3-b et 3-c: Réalisation de l'expérience et observation Constatation à partir du changement de couleur que s'est la réaction inverse qui s'est passée Ecriture de l'équation chimique correspondante
4	51 - 85	Réponse à la question 3-d : Recherche de la justification du sens imprévu de la réaction : à partir des pouvoirs oxydants à partir des concentrations à partir de la constante d'équilibre à partir de la stabilité à partir de la recherche d'un nouveau couple à partir de la recherche d'une autre réaction qui satisfait la règle du gamma

D'après ce tableau des grandes phases caractérisant la situation A2, nous remarquons que pour trois des quatre binômes, la difficulté principale rencontrée réside dans l'explication et l'argumentation de l'évolution du système (question 3-d). Cette évolution s'est faite dans le sens inverse qu'avaient prévu les apprenants.

Pour le binôme J&C, 153 tours de paroles parmi 215 sont consacrés à trouver une explication du sens imprévu de l'évolution du système chimique. Pour K&F, 43 tours de paroles sur 85 sont consacrés à la recherche de l'argumentation du sens imprévu de la réaction. Pour le binôme Y&B le sens imprévu de la réaction leur pose problème mais ils n'avancent pas de modèles explicatifs et ils se contentent seulement de mentionner l'influence de la concentration sur l'évolution d'un système chimique. Quant au binôme S&A, vu que la prévision est faite avec une application erronée de la règle du gamma, il n'y a pas eu de contradiction entre la prévision et l'observation.

II. Analyse des activités cognitives des étudiants

Dans cette partie nous nous proposons d'analyser l'activité cognitive de l'apprenant lorsqu'il est mis face à une réaction d'oxydoréduction qui évolue dans le sens contraire prévu avec le modèle des potentiels de référence. La réversibilité va mettre en question le modèle des potentiels de référence, ce qui va faire émerger les connaissances et les systèmes explicatifs de l'apprenant.

L'analyse de la réversibilité de la réaction chimique sera faite à partir de la troisième

question :

3) Réaliser l'expérience suivante :

Mélanger une solution de sulfate de cuivre $\text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$ avec une solution d'iode iodé

a) Décrire les observations : y a-t-il eu réaction ?

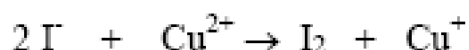
b) Quelle observation permet de l'affirmer ?

c) Quelle équation chimique correspond à cette réaction ?

d) Une telle équation est-elle compatible avec celle prévue à la question 2 ?

Pour la troisième question et particulièrement pour a) et b) : il s'agit comme première étape d'amener l'apprenant à conclure à partir des observations expérimentales (apparition de la couleur brune) qu'il y a eu une réaction. Nous nous proposons de voir si l'apprenant va expliquer l'apparition de la couleur brune par une réaction : lien (E, é).

Les questions 3c et 3d sont celles qui relèvent explicitement de l'évolution du système chimique dans le sens inverse prévu à l'aide des potentiels de référence. Pour répondre à ces questions les étudiants doivent établir le lien entre les observations faites à propos de la réaction qui s'est passée et l'équation de la réaction :



Il s'agit du lien (E, é).

Pour expliquer l'incompatibilité de l'équation de la réaction avec celle prévue à la question 2, les étudiants doivent faire le lien entre l'équation de la réaction, l'équation de Nernst et les caractéristiques du système chimique : concentrations, température et pression. Il s'agit du lien (é, t, G). Les étudiants doivent conclure que ce sont les caractéristiques du système (concentrations, température et pression) qui déterminent son évolution ; il s'agit alors du lien (G, é).

D'après l'analyse des réponses à la troisième question, nous nous proposons de voir si les étudiants conçoivent la réversibilité d'une réaction d'oxydoréduction et si les observations expérimentales vont les orienter à adopter un autre modèle prédictif et à abandonner par conséquent le modèle des potentiels de référence.

Pour répondre à ces questions, nous nous proposons d'analyser, à l'aide de notre cadre théorique, les interventions des apprenants pour expliciter leurs stratégies, leurs cheminements et aussi les niveaux de modélisations qu'ils mettent en œuvre et les liens qu'ils font entre ces niveaux .

Pour la situation A2 notre analyse sera focalisée sur les deux plus importantes activités d'après les transcriptions et les tableaux résumant les dialogues des binômes :

Activité A : l'activité de repérage de l'évolution du système chimique dans le sens inverse de celui prévu (à l'aide du modèle des potentiels de référence).

Activité B : l'activité d'argumentation de l'évolution du système chimique dans le sens inverse de celui prévu (à l'aide du modèle des potentiels de référence).

II.1. Activité A : repérage de l'évolution du système chimique dans le sens inverse de celui prévu à l'aide du modèle des potentiels de référence

Dans ce paragraphe nous nous proposons de retracer, à travers les interventions les plus illustratives des démarches adoptées, le cheminement de chaque binôme lors du repérage de l'évolution du système chimique dans le sens inverse du sens prévu. Nous nous proposons alors de voir quels sont les modèles et les connaissances mis en jeu et aussi quels niveaux l'apprenant va-t-il mettre en jeu et quels liens fera-t-il entre ces niveaux quand le milieu exerce sur lui une rétroaction négative ?

Binôme J&C

Pour le premier binôme J&C le repérage de l'évolution du système chimique dans le sens inverse du sens prévu s'est fait en plusieurs étapes.

1. Repérage à partir de l'observation

C 59 : *donc on va mélanger les deux solutions (E) // déjà on remarque que la couleur bleue disparaît progressivement (E) ce qui montre que les ions Cu^{2+} le nombre d'ions (G) Cu^{2+} (o) est entrain de diminuer dans la solution (é) décrire les observations y a-t-il eu réaction (?) oui il y a eu réaction (é) et on peut se référer à la couleur (P) de la à la couleur de la solution comme on avait dit la solution a perdu son couleur bleue (E) ce qui prouve que il y a qu'une partie des électrons Cu des ions Cu^{2+} qui a été neutralisée donc il y a bien eu une réaction (é)*

Lors du repérage du sens réel de la réaction, les niveaux évoqués sont (E, E, G, o, é, é, P, E, é)

Le repérage de l'inversion de la réaction s'est fait à partir de la mise en relation des trois principaux niveaux : perceptible (P et E), reconstruit (o et é) et théorique (G)

2. Repérage à partir de l'écriture de l'équation de la réaction qui s'est réellement passée

J 66 : *donc on a une équation à préparer (é) incompatible avec l'excès qu'on avait prévu (Mch); on va voir peut être qu'on avait fait faute quelques part lien (é, Mch)*

J 78 : *le problème c'est que l'équation qu'on prévoit à cet instant là (é) est incompatible (p) avec celle qu'on avait prévu (é) lien (é, p, é)*

Comme deuxième étape il y a eu l'écriture de l'équation qui confirme bien que la réaction s'est passée réellement dans le sens inverse de celui prévu, J&C refusent catégoriquement ce sens inverse. Malgré que J&C discutent du niveau des événements reconstruits (é), ceci ne les aide pas à rendre compte de l'événement qui s'est réellement passé et de changer de modèle prédictif. Mais ils signalent seulement que leur modèle de prédiction donne une équation inadéquate avec l'observation, ce qui les amènent à remettre en question l'équation plutôt que le modèle utilisé.

3. Réalisation d'une expérience témoin

J et C vont même réaliser une expérience témoin en mélangeant une solution de sulfate de cuivre avec une solution d'iodure de potassium pour prouver expérimentalement que la réaction inverse par rapport à la réaction prévue ne peut pas se

produire.

C113 : cette seconde expérience qu'on peut appeler expérience témoin met en évidence que les ions Cu^{2+} en présence des ions I^- (o) peuvent réagir (é) et le changement de couleur de la réaction (E) nous le prouve □ lien (o, é, E)

L'impossibilité d'une réaction qui n'obéit pas au modèle des potentiels de référence est bien ancrée chez J. Sa réplique est la suivante :

J 118 : le jaune et le bleu sont deux couleurs primaires (P) on les mélange (E) on obtient le vert (E) c'est tout à fait remarquable d'obtenir ici le vert c'est tout à fait normal (E) □ lien (P, E, E, E) : L'argumentation est faite uniquement au niveau perceptible des événements et des propriétés

J essaie de traduire les observations de telle manière qu'elles ne contredisent pas le modèle prédictif des potentiels de référence.

4. Vérification de la composition et de la formule de l'iode iodé

J 176 : je crois que la formule d'iode iodé c'est I_3^- (o)

C 189 : donc dans la seconde réaction quand on a mis une solution de CuSO_4 avec une solution d'iode iodée (E) qui normalement contient des ions I_3^- (o) et des ions I^- (o) la réaction qui s'est passée s'est passée entre les ions Cu^{2+} et I^- et on a eu deux Cu^{2+} plus deux électrons donne $\text{Cu}^{2+} + \text{I}_2$ (é) □ lien (E, o, o, é)

C essaie de concilier la prévision et la réaction qui s'est passée en essayant d'impliquer des nouveaux objets et événements reconstruits

5. Constatation que la réaction qui s'est déroulée est l'inverse de celle prévue

C-J 193-194 : et on a bien une réaction, on a bien une réaction qui a été exclue par l'étude □ lien (é, p)

Tableau 31 : Niveaux de connaissances mis en jeu dans l'activité A par le binôme J&C

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par J&C
(E , é)	(E, E, G, o, é, é, P, E, é) (é, Mch) (é, p, é) (o, é, E) (P, E, E, E) (E, o, o, é) (é, p)

D'après l'analyse des interventions les plus illustratives des démarches adoptées par J&C, nous remarquons qu'ils ont articulé beaucoup plus de niveaux de modélisation qui doivent être mobilisés pour fournir une réponse correcte. Cette activité cognitive montre que le modèle des potentiels de référence est résistant.

En effet, en première étape J&C ont constaté, d'après les observations expérimentales, qu'il y a eu une réaction dans le sens contraire prévu. Par la suite ils ont vérifié à l'aide de l'équation de la réaction que le système a évolué dans le sens contraire prévu. En troisième étape ils ont réalisé une expérience témoin pour essayer de traduire les observations de telle manière qu'elles ne contredisent pas le modèle prédictif des potentiels de référence. En dernier lieu ils ont mis en question la composition de l'iode iodé pour essayer de concilier la prévision et la réaction qui s'est passée.

Après avoir épuisé toutes les pistes qui peuvent mener à l'évolution du système chimique selon le modèle des potentiels de référence, C et J finissent par conclure qu'il y a eu une réaction et qu'elle n'obéit pas à la prédiction.

Binôme S&A

Pour ce binôme la prévision théorique est erronée et par conséquent ils ont prévu que Cu^{2+} et I^- vont réagir pour donner Cu^+ et I_2 , de ce fait la réaction chimique qui s'est réellement déroulée ne leur a pas posé de problèmes, car c'est la même réaction qu'ils ont prévu.

Binôme Y&B

Pour le binôme Y&B, le repérage de l'évolution du système chimique dans le sens inverse du sens prévu selon le modèle des potentiels de référence s'est fait assez rapidement en reliant les observations expérimentales aux objets et événements reconstruits. Mais ceci n'a pas empêché le binôme Y et B d'exprimer son grand étonnement pour le sens inattendu de la réaction.

Y 35 : *donc on a mélangé (E) du Cu^{2+} avec du I^- (o) donc la réaction qu'on a faite(é) c'est l'inverse (p) de ce qu'on a prévu la règle de gamma (Mch) $\text{I}_2 + 2 \text{Cu}^+$ (é) c'est pas normal une autre fois coloration jaune brune (P) c'est la couleur caractéristique de I_2 (o)*

Les niveaux évoqués sont (E, o, é, p, Mch, é, P, o)

Tableau 32 : Niveaux de connaissances mis en jeu dans l'activité A par le binôme Y&B

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par Y&B
(E, é)	(E, o, é, p, Mch, é, P, o)

Pour convaincre qu'il y a bien eu une réaction inverse à celle prévue, Y fait recours à l'articulation des trois principaux niveaux perceptible, reconstruit et théorique.

Le niveau théorique Mch, qui représente la règle du gamma, est automatiquement évoqué pour interpréter la réaction chimique qui s'est déroulée.

Binôme K & F

Pour le binôme K & F le repérage de l'évolution du système chimique dans le sens inverse du sens prévu s'est fait en plusieurs étapes de la manière suivante :

1. Repérage par changement de couleur

F 43 : coloration varie graduellement (E) dès qu'on a ajouté (E) le KI (o) on a vu on a vu que le jaune puis ça devient de plus en plus foncé ça tend vers le brun je crois (E) décrire les observations y a-t-il eu réaction bien sûre qu'il y a eu réaction (é) puisqu'il y a un changement de coloration (E) normalement il y a eu un changement de structure (t)

Les niveaux évoqués lors de cette constatation sont : (E, E, o, E, é, E, t) donc K & F font le lien entre les observations expérimentales, les objets, les événements reconstruits et la théorie

2. Repérage par écriture de l'équation de la réaction

K 44 : oui mais on remarque que ce qui se fait (E) c'est l'inverse qu'on avait prévu théoriquement (Mch) par ce que on a dit que la réaction se fait entre I₂ et Cu⁺ (é) alors que si on mélange (E) Cu²⁺ et I⁻ (o) on remarque qu'il y a encore réaction donc (é)

Lors de la conclusion sur l'inversion de la réaction les niveaux évoqués sont : (E, Mch, é, E, o, é) il y a présence des trois principaux niveaux perceptible, reconstruit et théorique.

Tableau 33 : Niveaux de connaissances mis en jeu dans l'activité A par le binôme K&F

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par K&F
(E , é)	(E, E, o, E, é, E, t) (E, Mch, é, E, o, é)

Nous remarquons, d'après les niveaux mis en jeu , que les observations expérimentales sont bien détaillées et qu'elles sont mises en relation avec le niveau théorique. Pour interpréter la réaction qui s'est déroulée K&F font recours à l'équation de la réaction et au niveau théorique Mch. Cette même démarche a été observée pour le binôme Y&B.

II.2.Activité B : argumentation de l'évolution du système chimique dans le sens inverse prévu à l'aide du modèle des potentiels de référence :

Binôme J&C

1. Argumentation par la possibilité de deux réactions

C197 : *en fait c'est simple on avait deux réactions prévisibles (é)*

Après avoir conclu qu'il y a eu une réaction dans le sens inverse par rapport à ce qu'ils ont prévu, C revient sur la prévision déjà faite et l'élargie à deux réactions l'une directe et l'autre inverse.

2. Argumentation par l'apparition d'une nouvelle couleur

C 203 : *c'est une réaction Cu²⁺ I⁻ (é) et puisque apparemment vu que la couleur a changé (E) on a bien eu réaction donc la réaction en fait c'est 2 Cu I⁻ / 2Cu⁺ + 2I⁻ donne(é) (é, E, é)*

Concernant le sens imprévu de la réaction observée, C restreint son argumentation par les propriétés perceptibles de cette réaction

3. Argumentation par les lois d'équilibrage

J 206 : *...on a bien conservation de la quantité de matière (t) on a bien conservation de la charge (t) c'est bon cette réaction (é)... (t, t, é)*

C se penche sur les lois d'équilibrage pour argumenter le sens imprévu de la réaction

Tableau 34 : Niveaux de connaissances mis en jeu dans l'activité B par le binôme J&C

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par J&C
(é, t, G) (G, é)	(é) (é, E, é) (t, t, é)

D'après les niveaux de connaissance mobilisés par J&C, nous remarquons que pour les deux premières argumentations le niveau théorique est absent. Pour la troisième argumentation, le niveau théorique apparaît mais il n'est pas relié à la grandeur concentration qui est une grandeur clé permettant d'accéder au modèle de Nernst. Les niveaux théoriques évoqués concernent seulement l'équilibrage de l'équation chimique.

Binôme Y & B

1. Argumentation par le pouvoir oxydant

Y-B 37-38 : *donc la réaction se fait entre l'oxydant le plus fort et le réducteur le plus fort (é, t)*

Y et B essaient de trouver une correspondance entre le sens de la réaction et la règle du gamma

2. Argumentation par la concentration

B 48 : peut être un jeu de concentration(G)

Tableau 35 : Niveaux de connaissances mis en jeu dans l'activité B par le binôme Y&B

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par Y&B
(é, t, G) (G, é)	(é, t) (G)

En comparant l'analyse a priori avec la réponse de Y&B, nous constatons que le niveau théorique est évoqué indépendamment de la grandeur concentration. La grandeur concentration est évoquée par la suite mais elle n'est pas reliée à un modèle chimique, ce qui explique le fait que Y&B ne sont pas arrivés à appliquer le modèle de Nernst.

B met l'accent sur l'importance de la concentration dans l'évolution d'un système chimique mais il n'explicite pas le modèle de Nernst.

Binôme K & F

1. Argumentation par la concentration

K 52 : *on doit revoir la concentration de (...) (G)*

2. Argumentation par le pouvoir oxydant

F 55 : *en plus, les pouvoirs oxydants sont (...) (G)*

Pour argumenter l'inversion de la réaction K et F font référence à la concentration et au pouvoir oxydant

3. Argumentation par la constante d'équilibre

K 58 : *la constante d'équilibre de la réaction (G) est assez grande(Mnum) pour qu'elle puisse pouvoir se faire facilement dans le sens inverse des potentiels standards (Mch) (G, Mnum, Mch)*

La constante d'équilibre ne semble pas fournir pour K une réponse à l'inversion de la réaction

4. Argumentation par la stabilité

F 61 : ...je crois que ça peut être justifié par un phénomène de la stabilité (t)

F argumente l'inversion par le phénomène de stabilité, K&F leur manque l'explication de l'inversion à partir de la précipitation de Cu^{2+} avec les équations. Ils se rapprochent de l'explication de l'inversion par la stabilité mais sans qu'ils puissent fournir de réelles explications

5. Argumentation par l'apparition d'un nouveau couple

K-F 66-67 : je cherche un autre couple ou intervient Cu^{2+} comme étant un Cu^{2+} (o) comme étant un oxydant (p) peut être que les potentiels standards (G) se rapprochent (o, p, G)

F 79 : on voit aussi le couple Cu^+ / Cu (o) qui a un potentiel (G) 0,52 qui est très proche (Mnum) de notre potentiel le potentiel (G) c'est à dire de I2 (o) 0,53 volt (Mnum) est ce que (...) (o, G, Mnum, G, o, Mnum)

F cherche un nouveau couple afin de rapprocher les potentiels de référence ce qui va satisfaire au modèle des E° et expliquer le sens observé

Tableau 36 : Niveaux de connaissances mis en jeu dans l'activité B par le binôme K&F

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par K&F
(é, t, G) (G, é)	(G) (G) (G, Mnum, Mch) (t) (o, p, G) (o, G, Mnum, G, o, Mnum)

Selon les niveaux mobilisés, nous constatons que le niveau grandeur occupe une place centrale dans le raisonnement du binôme K&F. Ce niveau grandeur est évoqué à travers la concentration, le pouvoir oxydant, la constante d'équilibre et le potentiel de référence. L'importance de la grandeur concentration est mentionnée sans que le binôme K&F l'explique davantage pour fournir une explication à l'évolution du système chimique. Les pouvoirs oxydants et les potentiels de référence sont les plus évoqués pour essayer de trouver une interprétation à l'évolution du système chimique satisfaisant au modèle des potentiels de référence. Aussi la recherche d'un nouveau couple est effectuée afin de rapprocher les potentiels de référence, ce qui va satisfaire au modèle des potentiels de référence et expliquer le sens observé.

Nous constatons alors que les grandeurs évoquées, pouvoir oxydant, constante d'équilibre et potentiel de référence, ont été utilisées dans l'objectif d'interpréter l'évolution selon le modèle des potentiels de référence. Ceci a empêché K&F d'exploiter la grandeur concentration pour expliquer l'évolution du système selon le modèle de Nernst.

Le niveau théorique (t), faisant référence à la stabilité, est évoqué sans être articulé avec d'autres niveaux, ce qui n'a pas permis à K&F d'approfondir leur raisonnement. Le seul modèle chimique qui a été détaillé est le modèle de potentiels de référence pour lequel K&F se sont investis dans de nombreuses mises en relation des différents niveaux

de modélisation.

II.3. Analyse de l'usage de la règle du gamma (ou du modèle de potentiels de référence) par les différents binômes

L'analyse des modèles mis en jeu et des liens qu'établissent les étudiants entre le niveau des modèles chimiques et les autres niveaux se présente comme suit :

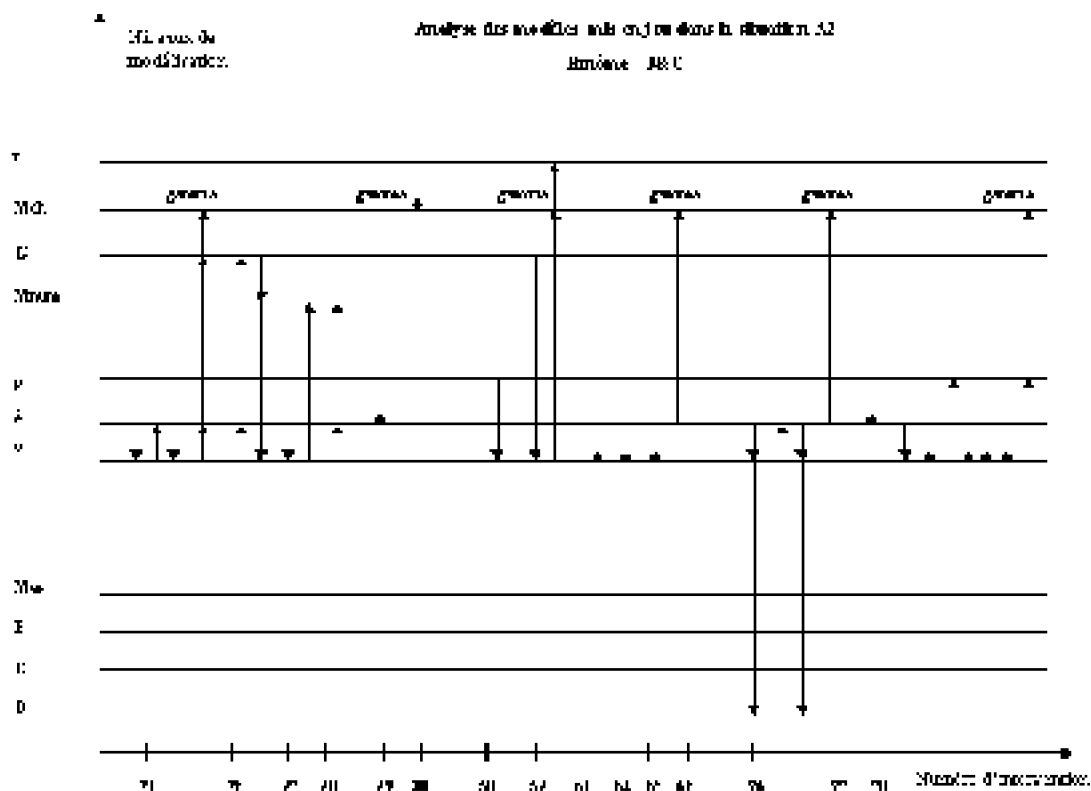


Figure 32 : Analyse des modèles mis en jeu dans la situation A2 pour le binôme J&C

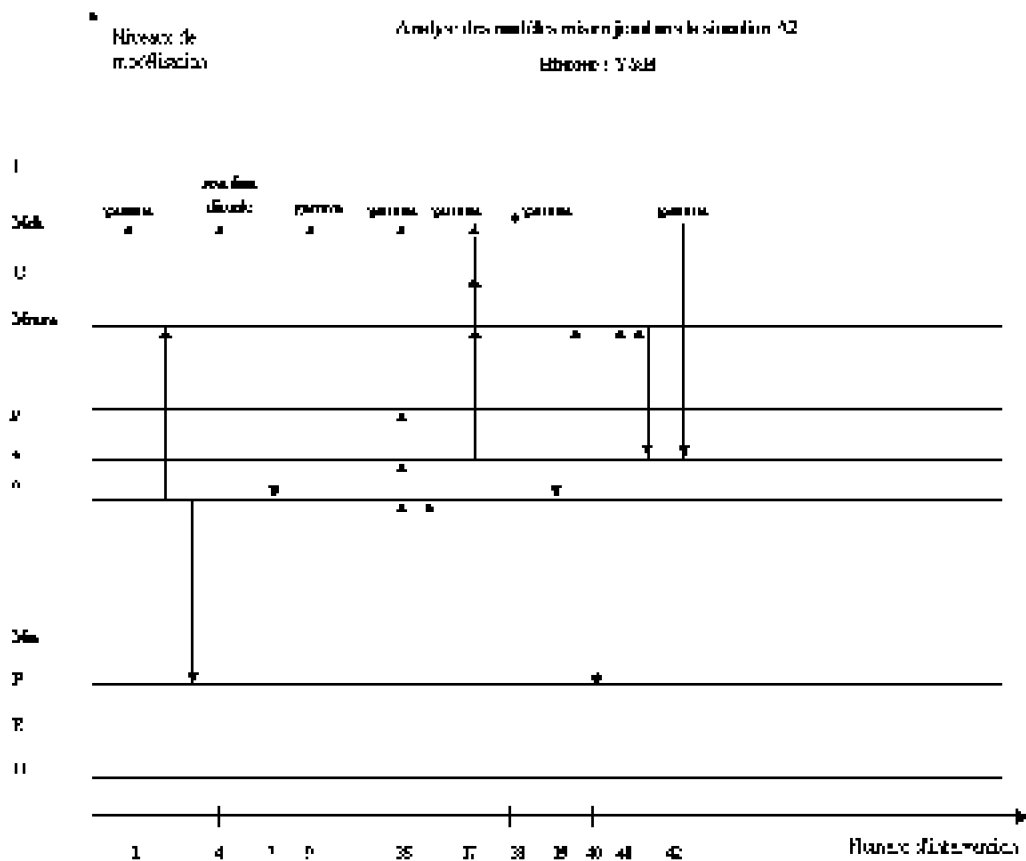


Figure 33: Analyse des modèles mis en jeu dans la situation A2 pour le binôme Y&B

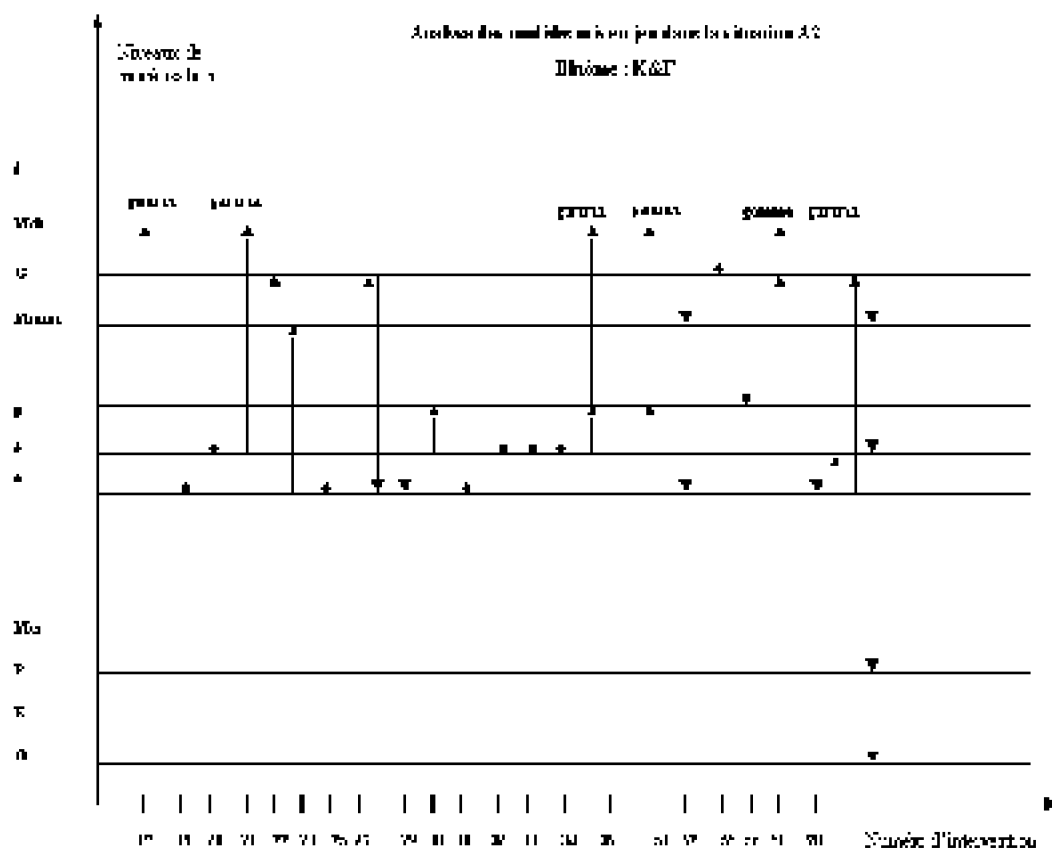


Figure 34: Analyse des modèles mis en jeu dans la situation A2 pour le binôme K&F

Nous constatons qu'il y a une seule fois l'usage du modèle de la réaction directe (binôme Y&B), alors que la règle Du gamma, qui correspond au modèle des potentiels de référence, est le seul modèle auquel font recours les trois binômes pendant les différentes phases de la situation et même quand ils s'aperçoivent que la prévision est fautive. Ceci confirme à quel point la règle Du gamma et par conséquent le modèle des potentiels de référence sont fondateurs pour les apprenants.

Si nous observons les niveaux de modélisation qui précèdent l'apparition du modèle des potentiels de référence, nous constatons qu'à chaque fois que ce modèle apparaît, il est précédé par les niveaux des événements et des objets reconstruits. Ceci s'explique par le fait que dans la plupart des cas où les apprenants doivent mettre en relation les objets reconstruits pour trouver l'événement reconstruit qui est la réaction chimique, ils s'appuient directement sur le modèle des potentiels de référence sans faire appel à d'autres niveaux théoriques.

Pour le binôme J&C, il se réfère 6 fois à la règle du gamma mais il ne l'articule qu'une seule fois avec le niveau théorique grandeur (G) de la manière suivante :

C 23 « on va on doit comparer les **pouvoirs réducteurs** des couples »

Pour le binôme Y&B, il se réfère 7 fois à la règle du gamma et il l'articule deux fois avec le niveau théorique grandeur (G) de la manière suivante :

Y 1 « ... donc on les classe par **pouvoir oxydant** croissant... »

Y 37 « donc la réaction qui s'est produite c'est $2I^- + 2Cu^{2+}$ ça donne $I_2 + 2Cu^+$ donc 0,52 0, 56 **pouvoir oxydant** donc la réaction se fait entre l'oxydant »

Pour le binôme K&F, il se réfère 6 fois à la règle du gamma et il l'articule deux fois avec le niveau grandeur de la manière suivante :

F 17 « ... on peut comparer les **pouvoirs oxydants** de chaque »

K 58 « ... **la constante d'équilibre de la réaction** est assez grande pour qu'elle puisse pouvoir pouvoir se faire facilement dans le sens inverse des potentiels standards »

A partir de ces interventions, qui sont importantes à travers les niveaux qu'elles articulent, nous pouvons constater que le niveau grandeur est principalement évoqué pour expliciter la règle du gamma et l'importance des pouvoirs oxydants et des pouvoirs réducteurs dans la détermination du sens de l'évolution du système chimique. D'après l'analyse a priori le niveau grandeur devrait être évoqué pour expliciter l'importance de la concentration dans l'évolution d'un système chimique. Or nous remarquons qu'aucun des trois binômes (J&C, Y&B, K&F) n'a articulé cette grandeur clé avec le niveau théorique et avec l'évolution du système oxydoréducteur. Le binôme K&F a évoqué la grandeur concentration mais il l'a pas reliée à l'évolution du système car il a repris, tout de suite, le raisonnement selon le modèle des potentiels de référence (K-F 52-56) :

- on doit revoir la concentration de (...) (... ?) 0,1 mol et Cu^{2+} 0,1 mole encore
- on peut trouver une explication
- ouai
- en plus les pouvoirs oxydants sont (...) sont assez
- assez loin »

Nous constatons alors, bien que le binôme K&F a évoqué la grandeur concentration, ce concept est isolé et n'est pas mis en lien avec d'autres concepts théoriques.

D'après l'analyse des réponses des apprenants, nous pouvons conclure que bien que les réponses des apprenants ne soient pas correctes, leurs systèmes explicatifs ne sont pas économiques et témoignent un effort cognitif, mais c'est l'absence de la grandeur clé concentration, inhibée par la règle du gamma, qui empêche l'apprenant de raisonner par le modèle de Nernst.

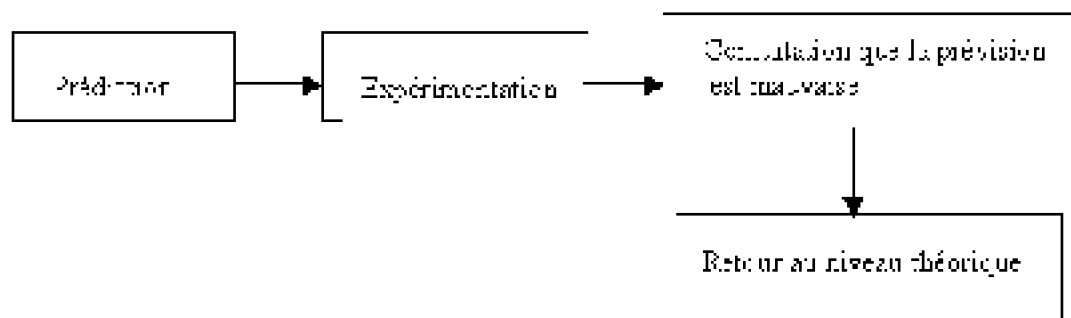
III. Conclusion de la situation A2

Pour cette situation, la tâche demande de prédire, de réaliser, de décrire et de commenter

en vertu de la loi du droit d'auteur.

un événement. Vu que cette situation est centrée sur le niveau événement qu'il soit perceptible ou reconstruit (E ou é), tous les binômes se sont penchés principalement sur le niveau événement. Mais selon les binômes il y a des mises en relation du niveau événement avec d'autres niveaux.

Pour cette situation, les binômes J&C, K&F et Y&B ont suivi un cheminement qui confirme l'analyse a priori :



Dans l'étape de la prédiction et à partir des réponses des différents binômes, la règle du gamma et le modèle de l'équation directe s'avèrent être le moyen le plus simple, car ils mettent en jeu moins de paramètres que le modèle de Nernst. Ce dernier modèle qui permet la bonne prédiction, est plus complexe car il met en jeu plusieurs paramètres relatifs à l'équation de Nernst tels que la température, la pression, le transfert d'électrons et la concentration qui ne sont pas explicites dans la tâche proposée. Pour cette raison, nous supposons que les différents binômes n'arrivent pas à mobiliser les concepts de base (concentration et échange d'électrons) pour construire le modèle de Nernst, mais ces concepts sont substitués par un formalisme qui empêche l'apprentissage et qui se restreint à un équilibrage d'équations chimiques.

Les concepts de base, sur lesquels les binômes devraient construire leurs réponses, sont souvent remplacés par des représentations symboliques. Dans notre cas les connaissances de base relatives à l'électron sont remplacées par la règle du gamma.

Comme en seconde et en première, pour construire leur raisonnement, les élèves ne font pas appel aux concepts fondamentaux mais aux représentations. Dans le cas de la seconde et de la première c'était les représentations et les équations dans notre cas c'est le modèle des potentiels de référence ou la règle du gamma. Ceci nous mène à conclure que les notions sur les électrons qui n'étaient pas bien comprises lors de l'apprentissage fondamental, ne sont pas bien utilisées ultérieurement. Par conséquent les étudiants n'utilisent la notion de transfert d'électrons que pour équilibrer l'équation de la réaction. Aussi les étudiants n'arrivent pas à faire le lien entre l'évolution du système chimique et les concentrations des entités présentes dans ce système. Dans les deux cas, au secondaire et au supérieur, les connaissances de base, électrons et concentration, sont remplacées par des formalismes qui empêchent l'apprentissage.

Après avoir réalisé l'expérimentation et constaté par l'observation que c'est la réaction inverse qui s'est produite, les trois binômes ne concluent pas directement par

en vertu de la loi du droit d'auteur.

cette observation mais ils essayent de repérer, en plusieurs étapes, cette évolution inattendue du système chimique.

- Ils se réfèrent alors à l'écriture de l'équation de la réaction ;
- Ils arrivent à réaliser une expérience témoin non demandée pour vérifier cette évolution inattendue ;
- Ils vérifient la composition des entités présentes dans le système chimique

Toutes ces étapes et ces démarches, adoptées par les étudiants pour pouvoir conclure qu'il y a bien eu une réaction inverse par rapport à celle prévue, montrent bien à quel point le modèle des potentiels de référence et la règle du gamma sont des connaissances fondatrices autour desquelles les apprenants construisent leurs réponses .

Pour les différentes étapes d'activité et particulièrement pour les conclusions, les binômes J&C, K&F et Y&B articulent les trois principaux niveaux : perceptible, reconstruit et théorique. Nous remarquons que, d'après l'analyse des transcriptions (Annexes C), tous les différents niveaux sont mis simultanément en jeu dans des phases de conclusion, d'interprétation et de décision, c'est-à-dire dans des moments forts de l'apprentissage.

Aussi, nous remarquons que, dans l'étape du retour au niveau théorique (schémas ci-dessus) et pour argumenter le sens observé de la réaction, les binômes se réfèrent encore aux pouvoirs oxydants et aux lois d'équilibrage, et ne font pas recours à l'équation de Nernst.

K&F particulièrement cherchent d'autres couples et par conséquent d'autres potentiels de référence qui répondent à la règle du gamma et aux observations faites, ils travaillent alors avec des équations chimiques plutôt qu'avec la loi de Nernst.

D'après l'analyse des transcriptions pour les trois binômes J&C, Y&B et K&F nous avons repéré la prédominance de la règle du gamma pour les modèles chimiques mis en jeu par les étudiants pour la totalité de la situation A2.

Ce recours abusif au modèle des potentiels de référence n'a pas empêché, pour les binômes Y&B et K&F, l'apparition des grandeurs concentration et constante d'équilibre. Plus encore K&F font référence à la constante d'équilibre et à la stabilité, mais ils n'ont pas pu articuler ces niveaux théoriques avec d'autres niveaux de modélisation pour expliciter, par exemple, la relation entre la constante d'équilibre et le potentiel du système.

D'après l'analyse des réponses des différents binômes, nous pouvons déduire que même si la réponse est erronée, les étudiants ont fourni un effort cognitif important mais qui reste centré sur le modèle des potentiels de référence. L'usage abusif de ce modèle n'a pas aidé les apprenants à évoquer l'importance des concentrations dans l'évolution d'un système redox. Ceci peut s'expliquer par le fait que dans un exercice écrit, on donne toutes les valeurs nécessaires pour répondre à la question; or dans cette situation expérimentale, les concentrations étaient indiquées sur les flacons. Bien que les concentrations soient données, les étudiants ne les utilisent pas car elles ne sont pas données d'une manière explicite mais elles sont présentes dans la situation ; vu que dans une situation expérimentale il y a beaucoup d'informations, et quand l'étudiant doit choisir, il ne fait pas souvent le bon choix. Bien qu'ils sachent utiliser le modèle de Nernst dans le

cas d'exercice, et devant une situation expérimentale, les étudiants ont les éléments de la situation mais ils ne les mettent pas en relation ; ils utilisent plutôt des modèles beaucoup plus primitifs par ce qu'ils mettent moins de niveaux en relation.

Comme implications à l'enseignement, le lien entre les concentrations des entités présentes et la grandeur prédictive E doit être fait aussi fréquemment que possible. Donc pour trouver une nouvelle interprétation de l'évolution d'un système chimique, c'est-à-dire pour permettre un bon retour au niveau théorique et une émergence du modèle de Nernst, il faut fournir aux étudiants des informations qui relèvent du niveau théorique telles que les concentrations des entités présentes. Il faut aussi attirer l'attention des apprenants sur les différentes observations et leur faire exploiter leur totalité ; ceci va leur permettre de se servir des observations utiles au modèle qui devrait apparaître.

Chapitre D 4 : Résultats des Analyses des transcriptions des binômes pour la situation B

La situation B a pour objectif de vérifier de quelle manière l'étudiant applique le modèle de Nernst et fait recours au diagramme potentiel-pH pour expliquer l'évolution d'un système oxydoréducteur lors des perturbations apportées à ce système. Nous nous proposons aussi à travers cette situation de faire extérioriser à l'étudiant les autres modèles qu'il utilise.

La situation B est composée de trois parties. Une première partie indique le matériel, les produits et leur concentrations ; une seconde partie porte sur le mode opératoire et la description des produits qui se formeront et une troisième partie présente les questions.

La partie concernant le mode opératoire, décrit la manière avec laquelle l'étudiant doit procéder pendant l'expérimentation et décrit aussi les produits qui se forment au cours de cette expérimentation. Les étudiants sont mis devant une situation pour laquelle ils auraient un certain nombre de tâches à accomplir; au début, on demande à l'apprenant de mélanger des réactifs (solution ferrique et iodure de potassium) et de faire par la suite une extraction de l'un des deux produits de la réaction (l'iode). L'étape suivante consiste à ajouter au deuxième produit de la soude, ce qui donne naissance à un nouveau produit (précipité vert). A la fin on demande à l'étudiant d'agiter l'ensemble, ce qui va encore donner un nouveau produit (précipité rouille).

La partie mode opératoire, met l'étudiant dans une situation pour laquelle il y a une évolution d'un système oxydoréducteur et que par la suite on apporte des perturbations à ce système. Ces perturbations apportées au système qui sont l'ajout de la soude et l'agitation, vont donner naissance à de nouveaux produits.

Pour rendre compte de l'évolution du système oxydoréducteur, on demande tout d'abord, dans une première question, à l'étudiant de décrire les observations. Par la suite, dans une seconde question, on lui demande de relier ces observations expérimentales aux potentiels des couples mis en jeu. La troisième question porte sur l'effet de la

première perturbation (ajout de soude); on demande alors d'identifier le précipité formé. La quatrième question demande à l'étudiant d'interpréter l'effet de la deuxième perturbation (l'agitation) à l'aide du diagramme potentiel-pH du fer.

L'étudiant doit expérimenter en manipulant des produits chimiques, observer, chercher à comprendre ces observations et enfin identifier les produits formés et ceci en mettant en jeu les potentiels des couples et le diagramme potentiel pH qui sont intimement liés au modèle de Nernst.

Cette situation B, contrairement aux autres situations A1 et A2, ne demande pas à l'étudiant de prévoir des réactions, mais de les décrire et de décrire les produits formés et lui demande enfin d'expliquer et d'interpréter ces réactions.

Pour interpréter l'évolution du système oxydoréducteur et d'après le savoir savant, l'étudiant doit se référer au modèle de Nernst et au diagramme potentiel-pH, ce qui est explicité dans les questions.

L'objectif de cette situation est de voir, dans le cas où les étudiants sont orientés vers le modèle de Nernst et vers le diagramme potentiel-pH, s'ils font un bon usage du modèle de Nernst ?

Quels modèles et quels arguments théoriques les étudiants utilisent-ils pour interpréter l'évolution du système oxydoréducteur ?

Les étudiants utilisent-ils les mêmes modèles et les mêmes arguments théoriques quand ils prévoient ou interprètent l'évolution du système oxydoréducteur ?

L'usage de perturbations apportées à un système oxydoréducteur pourrait alors nous renseigner sur la manière avec laquelle les étudiants mobilisent le modèle de Nernst et éventuellement sur les autres modèles qu'ils pourraient utiliser.

En nous appuyant sur notre première hypothèse de modélisation, nous nous proposons de voir à quels niveaux de connaissances (voir le cadre théorique), les apprenants font-ils recours et quels liens établissent-ils entre les niveaux de modélisation, mis en jeu, pour expliquer et justifier l'évolution d'un système oxydoréducteur.

IV. Analyse de la situation

Nous rappelons que les deux premières questions posées aux étudiants sont :

1) Quelles sont les observations qu'on peut faire après l'addition de la solution d'iodure de potassium à la solution ferrique ?

2) Que peut-on dire des potentiels des couples mis en jeu lors de cette expérience ? On justifiera la réponse en utilisant les observations expérimentales.

La première question suppose que les étudiants soient capables de faire la liste des objet-événements perceptibles. La deuxième question suppose que les étudiants soient capables de faire la liste des objets reconstruits qui sont les réactifs et les couples correspondants, et aussi de leur faire correspondre des grandeurs qui sont les potentiels. D'après le savoir savant, ces potentiels ne peuvent être déduits et comparés que grâce au

modèle de Nernst. La deuxième question a donc pour objectif de vérifier si l'élève définit et compare les potentiels à partir du modèle de Nernst ou s'il s'appuie automatiquement sur le modèle des potentiels de références.

En se référant à une réponse correcte, nous nous attendons que les étudiants prennent en compte les objets reconstruits $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ et I_2/I^- et qu'ils trouvent l'événement reconstruit qui est la réaction chimique aboutissant à la formation de l'iode I_2 et des ions Fe^{2+} .

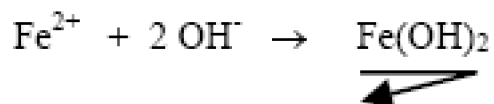


La formation de I_2 est détectée par la coloration brune de l'iode ce qui confirme bien que la réaction représentée ci-dessus a eu lieu. A l'état initial, les potentiels de Nernst de chaque couple sont donc tels que

$$E(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) > E(\text{I}_2/\text{I}^-)$$

Nous faisons l'hypothèse (l'analyse la vérifiera) que des étudiants vont appliquer le modèle des potentiels de référence pour déduire l'ordre des potentiels.

La troisième question de cette situation, demande aux étudiants d'identifier l'hydroxyde vert qui précipite suite à l'addition de la soude. L'identification de cet hydroxyde peut être déduite de l'écriture de l'équation de la réaction suivante :



La quatrième question demande à l'étudiant d'interpréter, à l'aide du diagramme potentiel-pH, l'effet de l'agitation qui conduit à la formation d'un nouveau précipité rouille. En fait, l'agitation fait entrer en jeu l'iode I_2 qui était dans la phase étherée. En présence de I_2 et des ions hydroxyde OH^- provenant de la soude, c'est-à-dire en milieu fortement basique, le diagramme potentiel-pH permet de prévoir que la réaction suivante se déroule:



Cette réponse correcte montre que les étudiants doivent mettre en relation un événement perceptible, l'agitation, avec la mise en contact de I_2 avec $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Par la suite les étudiants doivent établir le lien entre ces objets reconstruits et le modèle graphique (le diagramme potentiel-pH). Nous prévoyons que les étudiants auront des difficultés à relier la formation du précipité rouille à la présence de I_2 qu'ils ne vont pas détecter. Nous pensons que certains étudiants n'arriveront pas à relier l'évolution du système oxydoréducteur avec les entités et les couples présents et ne vont pas non plus

traduire les perturbations apportées au système à l'aide du diagramme potentiel-pH.

Pour analyser l'activité cognitive de l'étudiant lors de la situation B, nous nous proposons de voir les niveaux de modélisation auxquels chaque étudiant a recours et les liens établis entre ces niveaux, pour justifier et argumenter l'évolution d'un système chimique. Nous nous proposons aussi de voir si ces mêmes niveaux théoriques apparaissent quand les étudiants prévoient ou interprètent.

V. Résumé des dialogues des étudiants

Afin d'analyser globalement les activités des quatre binômes nous avons procédé par découpage de plusieurs niveaux en situations, phases et étapes comme présentés précédemment.

A priori et avant les séances, nous avons défini les cinq phases de la situation B de la manière suivante :

la première phase se rapporte à la reconnaissance du matériel, la lecture des données et la réalisation des expériences demandées

les quatre autres phases concernent les réponses aux quatre questions posées.

D'après l'analyse des transcriptions, les quatre tableaux ci-dessous résument les grandes phases de l'activité des quatre binômes. L'intégralité des phases d'activités pour les quatre binômes enregistrés est donnée en annexes (Annexes C).

Tableau 37 : Les phases et les étapes de la situation B pour le binôme J&C

Phase	N° d'interventions du début et de la fin de chaque phase	Etapes de chaque phase de l'activité
1	1 - 34	Reconnaissance du matériel Lecture des données Réalisation des expérimentations demandées dans le mode opératoire
2	35 - 60	Réponse à la question 1 : Identification des couples mis en jeu et écriture des demi-équations et de l'équation globale Vérification de la correspondance entre l'équation chimique et les observations expérimentales
3	61 - 79	Réponse à la question 2 : Comparaison des potentiels de référence des couples mis en jeu Remarque sur les conditions expérimentales non standard
4	80 - 122	Réponses à la question 3 : Rappel des étapes expérimentales Interrogation sur la présence des ions Fe^{3+} Identification du premier précipité à partir de sa couleur
5	123 - 382	Réponses à la question 4 : Reprise des observations expérimentales Identification du deuxième précipité à partir de sa couleur Explication de la formation du deuxième précipité à l'aide du diagramme potentiel-pH et aussi à partir de la stabilité du précipité formé Explication de la formation du deuxième précipité par l'écriture de l'équation impliquant les couples I_2 / I^- et Fe^{3+} / Fe^{2+} Raisonnement sur le fait que l'agitation provoque seulement un changement de potentiel Application du modèle de Nernst sans pouvoir rendre compte de la réaction Raisonnement sur le fait que l'agitation a mis en jeu I_2 qui ne peut pas réagir avec les ions Fe^{2+} selon le modèle des potentiels de référence. Tentative pour trouver un nouveau couple afin de satisfaire au modèle des potentiels de référence Raisonnement sans appui théorique que le pH varie alors que le potentiel reste constant Argumentation de la formation du deuxième précipité par la non stabilité du premier précipité formé Traçage du diagramme potentiel-pH Confusion entre potentiel et potentiel de référence Conclusion sur le fait que l'équation bilan n'est pas l'équation de la réaction, car elle n'obéit pas à la règle du gamma Reprise des différentes étapes de l'expérimentation et bilan des entités chimiques présentes dans le système Conclusion que la réaction est : $2 Fe(OH)_2 + I_2 + 2 OH^- \rightarrow 2 Fe(OH)_3 + 2 I^-$ sans avancer de justification théoriques Conclusion sur l'inutilité du diagramme potentiel-pH

Tableau 38 : Les phases et les étapes de la situation B pour le binôme S&A

Phase	N°	Etapes de chaque phase de l'activité
-------	----	--------------------------------------

Partie D : Analyse des données recueillies à propos de l'usage, par les étudiants, des modèles de prédiction de l'évolution d'un système oxydoréducteur

	d'interventions du début et de la fin de chaque phase	
1	1 - 66	Reconnaissance du matériel Lecture des données Réalisation des expérimentations demandées dans le mode opératoire
2	67 - 85	Réponse à la question 1 : Identification de I_2 à partir des observations expérimentales
3	86 - 160	Réponse à la question 2 : Identification des potentiels des couples comme étant des potentiels de référence Rappel des étapes de l'expérimentation pour définir les couples Ecriture des demi-équations et de l'équation Comparaison erronée des pouvoirs réducteurs en les assimilant à des pouvoirs oxydants Reprise de la comparaison selon le modèle des potentiels de référence
4	161 - 180	Réponse à la question 3 : Identification du premier précipité d'après les entités présentes en solution et d'après la coloration verte
5	181 - 277	Réponses à la question 4 : Définition des couples existants Identification du second précipité à partir de sa couleur Etude de l'influence de la variation de pH à partir du diagramme potentiel-pH Argumentation sur la relation entre la formation du second précipité et l'instabilité du premier précipité en milieu basique Reconsidération des différentes étapes de l'expérimentation et des entités existantes en solution Constatation de l'absence d'ions Fe^{3+} en solution Conclusion sur l'origine de la formation du second précipité en relation avec l'augmentation du pH et la confirmation par la coloration rouille

Tableau 39 : Les phases et les étapes de la situation B pour le binôme Y&B

Phase	N° d'interventions du début et de la fin de chaque phase	Étapes de chaque phase de l'activité
1	1 - 14	Reconnaissance du matériel Lecture des données Réalisation des expérimentations demandées dans le mode opératoire
2	15 - 18	Réponse à la question 1 : Identification des ions I_2 à partir des observations expérimentales
3	19 - 47	Réponse à la question 2 : Bilan des couples mis en jeu Comparaison des potentiels des couples à partir du sens de l'évolution de la réaction
4	48 - 51	Réponse à la question 3 : Identification du premier précipité d'après les entités présentes en solution
5	51 - 93	Réponse à la question 4 : Identification du second précipité à partir de sa couleur Reprise des observations expérimentales et vérification des entités présentes en solution Recherche d'explication de la provenance des ions Fe^{3+} Hypothèse que I_2 à réagit avec $Fe(OH)_2$ Evocation du couple H_3O^+ / H_2 et constatation de sa réaction avec $Fe(OH)_2$

Tableau 40 : Les phases et les étapes de la situation B pour le binôme K&F

Phase N°	N° d'interventions du début et de la fin de chaque phase	Etapes de chaque phase de l'activité
1	1 - 29	Reconnaissance du matériel Lecture des données Réalisation des expérimentations demandées dans le mode opératoire
2	30 - 41	Réponse à la question 1 : Ecriture de l'équation bilan de la réaction d'après les couples existants en solution Identification des ions I_2 à partir des observations expérimentales et confirmation par l'équation de la réaction
3	42 - 53	Réponse à la question 2 : Comparaison des potentiels de référence Mise en relation de la constante de la réaction et des potentiels de référence
4	54 - 71	Réponse à la question 3 : Réflexion sur la précipitation et sur l'importance des concentrations des entités Identification du premier précipité à partir de sa couleur et à partir de sa concentration
Niveaux de connaissance mis en jeu par J&CCe tableau permet une analyse globale des réponses des étudiants. Pour la première phase, tous les binômes sont tour à tour passés par la reconnaissance du matériel, la lecture des données et la réalisation de l'expérience demandée ; ceci confirme (comme pour les situations A1 et A2) les étapes construites pour prévoir l'activité de l'apprenant. 5 Pour répondre à la première question, deux des quatre binômes (S&A et Y&B) ont procédé directement à une identification de I_2 formé à partir des observations expérimentales alors que les deux autres (J&C et K&F) ont identifié I_2 en premier, grâce à l'écriture de l'équation de la réaction ; ce qu'ils ont confirmé par la suite à l'aide d'observations expérimentales. Ces deux stratégies : identification directe d'un composé à partir des observations expérimentales, ou identification d'un composé à partir de l'équation de la réaction puis confirmation par les observations expérimentales ont été observées dans les situations A1 et A2. Pour répondre à la deuxième question		72 - 108 Réponse à la question 4 : Identification du second précipité à partir de sa couleur Recours au diagramme potentiel-pH et assimilation des potentiels aux potentiels de référence Rappel des étapes de l'expérimentation et des entités existantes Raisonnement sur l'inversion de la première réaction ($2 Fe^{3+} + 2 I^- \rightleftharpoons 2 Fe^{2+} + I_2$) par la loi de modération Argumentation de l'inversion de la réaction par la faible différence entre les potentiels de référence des couples mis en jeu et aussi par la faible concentration des Fe^{3+} Argumentation de la formation du second précipité par la cinétique de la réaction chimique.

concernant la comparaison des potentiels des couples mis en jeu, trois des quatre binômes (J&C, S&A, K&F) ont procédé par comparaison des potentiels de référence des couples mis en jeu. Seul le binôme Y&B a comparé les potentiels de Nernst des couples mis en jeu à partir du sens de l'évolution de la réaction. L'identification du premier précipité (troisième question) s'est faite principalement à partir de la couleur du précipité (J&C, S&A, K&F). S&A partent de la liste des entités présentes pour définir le précipité et confirment sa présence par sa couleur caractéristique. K&F insistent sur le rôle de la concentration des ions Fe^{2+} dans la formation du précipité. Le binôme Y&B définit le précipité directement à partir de la liste des entités présentes. La quatrième question a entraîné une grande discussion (J&C : 296 interventions sur 382 que compte la transcription de cette situation ; S&A : 96 interventions sur 277 ; Y&B : 42 interventions sur 93 ; K&F : 36 interventions sur 108) et a posé de grandes difficultés aux étudiants. D'après les différentes étapes, nous constatons que, pour les quatre binômes, la première difficulté réside dans la constatation de l'intérêt de l'agitation (introduction de I_2) et par conséquent dans la définition des couples mis en jeu. La seconde difficulté réside dans la détermination de l'équation de la réaction qui n'obéit pas au modèle des potentiels de référence et que les apprenants n'ont pu ni expliquer ni justifier à l'aide du diagramme potentiel-pH. Dans le but de savoir si l'apprenant conçoit la variation des potentiels des couples en fonction du pH, nous nous proposons de voir quels sont les niveaux théoriques et les processus cognitifs mis en jeu lorsque l'apprenant interprète une réaction d'oxydoréduction pour laquelle le pH varie.

VI. Analyse des activités cognitives des étudiants relatives à l'évolution du système

oxydoréducteur pour lequel le pH varie
L'objectif de cette partie est d'analyser l'activité cognitive de l'apprenant face à une réaction d'oxydoréduction pour laquelle le pH varie. La variation de pH entraîne la variation des potentiels de Nernst des couples mis en jeu, ce qui remet en question une éventuelle utilisation du modèle des potentiels de référence.

L'analyse sera faite à partir de la quatrième question : 4) Après avoir agiter ensuite le tube à essai la couleur vire du vert à la couleur rouille, interpréter cette observation en vous basant sur le diagramme potentiel pH du fer. Pour analyser les interventions les plus illustratives des démarches des apprenants, nous nous appuyons sur notre deuxième hypothèse de modélisation et nous nous limitons aux passages impliquant différents niveaux de modélisation. Leur analyse repose sur les liens que font les apprenants entre ces niveaux lorsqu'ils interprètent l'évolution du système oxydoréducteur. Pour chacun des quatre binômes, l'activité d'interprétation de l'évolution du système oxydoréducteur s'est présentée de la façon suivante : **Binôme**

J&C L'interprétation, pour le binôme (J&C), a résulté du cheminement suivant : **Explication de la formation du deuxième précipité à l'aide du diagramme potentiel-pH et aussi à partir de la stabilité du précipité formé** 129 J : « on doit tout d'abord interpréter la réaction (é) en se basant sur le diagramme potentiel-pH du fer dans le diagramme potentiel pH du fer (Mgr) on voit que le FeOH₂ précipite dans un domaine bien précis (é, Mgr) et que le FeOH₃ précipite dans un autre domaine bien précis (é, Mgr) » 138 C : « ...pour la zone de pH dans laquelle on est quel est le précipité le plus stable (Mgr, o, p) et est ce que c'est FeOH₂ ou bien FeOH₃ qui est plus stable

<p>(o, p)... » En s'appuyant sur le diagramme potentiel-pH, J articule directement l'événement précipitation avec le modèle graphique à travers le lien (é, Mgr, é, Mgr, é, Mgr). C discute la stabilité de $\text{Fe}(\text{OH})_2$ et $\text{Fe}(\text{OH})_3$ en milieu basique mais il n'implique pas le second couple I_2 / I^- mis en jeu dans la réaction; il fait alors le lien (Mgr, o, p, o, p) D'après l'analyse a priori pour pouvoir rendre compte de la réaction de précipitation, l'apprenant doit tout d'abord identifier les entités et les couples présents; par la suite il doit se référer au diagramme potentiel-pH; il s'agit du lien : (o, Mgr). L'étudiant doit se baser sur le diagramme potentiel pH, pour constater qu'en milieu basique l'iode peut oxyder le fer (II) ; il s'agit du lien (p, é). Niveaux de connaissance selon le savoir savant</p>	
<p>(o, Mgr) (p, é)</p>	<p>(é, Mgr, é, Mgr, é, Mgr) (Mgr, o, p, o, p)</p>

Nous remarquons qu'en faisant recours au diagramme potentiel-pH, J&C ne font pas la première étape qui est nécessaire et qui concerne l'identification de tous les objets impliqués dans la réaction. Cette étape qui manque fait que J&C ne font pas bon usage du diagramme potentiel-pH malgré qu'ils ont articulé plusieurs niveaux.

Explication de la formation du deuxième précipité par l'écriture de l'équation chimique impliquant les couples I_2 / I^- et $\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$

C154 : « Est ce qu'on peut tout d'abord écrire la réaction de l'équation qui s'est passée ? » (é)

Pour interpréter la formation du deuxième précipité, C part de l'écriture de l'équation de la réaction

161 J : « et lorsqu'on a fait cette réaction (é) elle n'est pas possible cette réaction(é, p) par ce que le potentiel $\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$ est plus grand que celui de I_2 / I^- (Mch)»

□ lien (é, Mch)

Tableau 42 : Niveaux de connaissances mis en jeu dans l'activité B par le binôme J&C

<p>Niveaux de connaissance selon le savoir savant</p>	<p>Niveaux de connaissance mis en jeu par J&C</p>
<p>(o, Mgr) (p, é)</p>	<p>(é) (é, Mch)</p>

Pour déterminer et interpréter la réaction qui s'est passée, C commence directement par l'écriture de l'équation de la réaction. Pour C le raisonnement commence par l'écriture de l'équation de la réaction : il s'agit du modèle de la réaction directe que nous avons

repéré aussi pour les situation A1 et A2.

Après avoir fourni l'équation de la réaction, J se rend compte que l'équation n'obéit pas au modèle des potentiels de référence : il s'agit du lien (é, Mch), il conclut alors que la réaction est impossible.

Essai de trouver un nouveau couple afin de satisfaire au modèle des potentiels de référence

190 C : « et on sait que y'a pas un oxydant qui est plus fort que l'eau (o, p) donc normalement on devrait avoir une réaction dans laquelle H₃O⁺ vont intervenir vu la solution qu'on a (é, o) l'oxydant le plus fort c'est H₃O⁺ (o, p) donc il suffit qu'on ait un couple un autre couple redox qui à n'importe quel potentiel puisqu'on sait que dans notre cas le l'eau a le plus grand potentiel donc il suffit qu'on ait un autre couple redox pour qu'il y ait une réaction entre H₃O⁺ entre le couple H₃O⁺ / H₂ et un autre couple (é, Mch) »

□ lien : (o, p, é, o, o, p, é, Mch)

Tableau 43 : Niveaux de connaissances mis en jeu dans l'activité B par le binôme J&C

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par J&C
(o, Mgr) (p, é)	(o, p, é, o, o, p, é, Mch)

Après avoir échoué dans l'interprétation de l'évolution du système chimique à l'aide du modèle de potentiel de référence, C introduit le couple H_3O^+ / H_2 le couple le plus oxydant des couples oxydoréducteurs et qui n'intervient pas dans la réaction. C utilise la propriété oxydante de l'eau qui lui fournit un deuxième oxydant plus fort que le premier déjà identifié. En trouvant un deuxième oxydant dont le potentiel de référence est le plus grand, C pourra expliquer la formation de Fe(OH)₃ selon le modèle des potentiels de référence.

Raisonnement sur la variation du pH et du potentiel

J&C :255-258 J « on avait dit que le pH restait constant durant le (...) on a plus l'hypothèse parce qu'on a les OH⁻ devaient être consommés par les FeOH₂ (G, p, é). Voilà donc on doit ajouter de la soude (E)... normalement on s'est déplacé parallèlement à l'axe des pH ce qui explique la transition peut être de FeOH₂ à FeOH₃ par ce que le nombre de moles OH⁻ a augmenté (Mgr, é) »

□ lien : (G, p, é, E, Mgr, é)

J&C 264-267 : « au moment d'ajouter le NaOH (E) on est sûr que le pH va augmenter (G, é)...mais le potentiel ne change pas (G, é) »

□ lien : (E, é, é)

Tableau 44 : Niveaux de connaissances mis en jeu dans l'activité B par le binôme J&C

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par J&C
(o, Mgr) (p, é)	(G, p, é, E, Mgr, é) (E, G, é, G, é)

Après avoir fait l'hypothèse que le pH reste constant, C et J changent radicalement d'avis, sans appui théorique, dans le but de trouver une solution à la formation de Fe(OH)₃.

Constatation que l'équation bilan n'est pas l'équation de la réaction car elle n'obéit pas à la règle du gamma

J&C 339-343 : « ... on va obtenir 2 FeOH₂ + 2 OH⁻ + I₂ nous donne FeOH₃ + I₂ (é)...ce n'est pas l'équation bilan parce qu'elle ne respecte pas la règle gamma // elle ne respecte pas la règle gamma (é,Mch) on a FeOH₃ + I⁻ nous donne I₂ + FeOH₂ moi je n'est vraiment pas trouvé l'utilité qu'il y a un pH derrière tout ça on doit se baser sur un diagramme pH (é, Mgr)»

Tableau 45 : Niveaux de connaissances mis en jeu dans l'activité B par le binôme J&C

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par J&C
(o, Mgr) (p, é)	(é, Mch, é, Mgr)

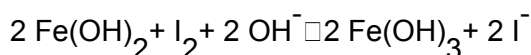
Accord final sur l'équation bilan sans appui théorique :

J&C : 378-379 : « ...2 FeOH₂ + 2 OH⁻ + I₂ donne 2 FeOH₃ + 2 I⁻ c'est la réaction qu'on la plus plausible (é, p) »

Tableau 46 : Niveaux de connaissances mis en jeu dans l'activité B par le binôme J&C

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par J&C
(o, Mgr) (p, é)	(é, p)

après avoir épuisé plusieurs pistes J&C sont d'accord sur l'équation bilan :



A la fin de la situation, J&C font la conclusion sur la non importance du diagramme potentiel-pH

C 382 : « et voilà et on voit pas dans tout ça l'intérêt de la courbe E en fonction du pH pour la variation le diagramme de potentiel pH du fer on voit pas l'intérêt du diagramme potentiel pH pour le fer voilà »

Synthèse des niveaux de connaissance mis en jeu dans l'activité B par le binôme J&C

Tableau 47 : Synthèse des niveaux de connaissance mis en jeu dans l'activité B par le binôme J&C

Partie D : Analyse des données recueillies à propos de l'usage, par les étudiants, des modèles de prédiction de l'évolution d'un système oxydoréducteur

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par J&C
(o, Mgr) (p, é)	(é, Mgr, é, Mgr, é, Mgr) (Mgr, o, p, o, p) (é) (é, Mch) (o, p, é, o, o, p, é, Mch) (G, p, é, E, Mgr, é) (E, G, é, G, é) (é, Mch, é, Mgr) (é, p)

Après avoir suivi cinq démarches pour l'interprétation de l'évolution du système chimique, J&C donnent l'équation de la réaction et concluent que c'est la plus plausible (lien (é, p)) en ne s'appuyant sur aucun de leurs raisonnements.

Par rapport au savoir savant, J&C ont mobilisé tous les niveaux nécessaires pour fournir une réponse correcte et les ont articulés de différentes manières. Cependant, J&C ne sont pas arrivés à la bonne interprétation de l'évolution du système chimique car, comme le montre l'analyse des niveaux de modélisation, le modèle chimique appliqué, qui est le modèle de potentiels de référence, est au centre de leur activité cognitive. Le modèle des potentiels de référence n'a pas permis aux étudiants d'identifier la réaction qui s'est déroulée et ne les a pas aidés à donner un sens au modèle graphique. De plus nous remarquons que le niveau des objets (o), qui devait être mobilisé en premier lieu pour fournir une réponses correcte, est absent dans trois des démarches de J&C. Ceci témoigne que l'une des difficulté des étudiants, dans l'interprétation de l'évolution d'un système oxydoréducteur, est l'absence du lien entre les observations et les entités chimique impliquées dans la réaction.

Binôme S&A

L'interprétation, pour le binôme (S&A), a résulté du cheminement suivant :

Argumentation de la formation du second précipité par l'instabilité du premier précipité dans un domaine fortement basique

A 201 : « ...donc si on augmente le pH (é) ça passe vers là on a en fait $Fe(OH)_2$ puis au dessus dans le diagramme $Fe(OH)_3$ (Mgr) si on augmente le pH(é) c'est à dire on va passer il est instable dans la solution(o, p, t) on va passer à $Fe(OH)_3(Mgr)$ c'est pourquoi on observe la couleur rouille (E) »

□ lien : (é, Mgr, é, o, p,t, Mgr, E)

Tableau 48 : Niveaux de connaissance mis en jeu dans l'activité B par le binôme S&A

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par S&A
(o, Mgr) (p, é)	(é, Mgr, é, o, p, t, Mgr, E)

A argumente la formation de $Fe(OH)_3$ par l'augmentation du pH et l'instabilité de $Fe(OH)_2$ dans un domaine fortement basique. Le raisonnement par la stabilité (t) n'est pas articulé à d'autres niveaux théoriques, mais la stabilité est mentionnée comme étant une propriété de l'objet : (o, p)

Constatation d'absence d'ions Fe^{3+} en solution

S 234 : « ...tu vois où est le problème, il n'y a pas de Fe³⁺ dans la solution (o, O) toi t'as dit que un précipité Fe(OH)₃ serait formé (é) y a pas de Fe³⁺ (o) c'est ça le Fe(OH)₃ serait formé y a pas de Fe³⁺ (é,o) c'est ça le problème/ alors »

□ lien : (o, O, é, o, é, o)

Tableau 49 :Niveaux de connaissance mis en jeu dans l'activité B par le binôme S&A

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par S&A
(o, Mgr) (p, é)	(o, O, é, o, é, o)

Pour expliquer l'événement qui est la réaction chimique, S se réfère aux objets et ne mobilise pas un modèle chimique. Selon S pour qu'il y ait formation de Fe(OH)₃ il faut qu'il ait des ions Fe³⁺, S ne se réfère même pas à l'oxydoréduction pour expliquer la formation du précipité.

Raisonnement sur la variation de pH

S&A 249-251 : « donc d'ou le passage de Fe(OH)₂ à Fe(OH)₃...ça se fait par ce que si on augmente si la variation si le domaine de prédominance de Fe(OH)₂ et Fe(OH)₃ (Mgr) si on augmente le pH dans une solution qui contient Fe(OH)₂ (é) ça passe vers Fe(OH)₃ avec de la soude bien sûr (é, O) »

□ lien : (Mgr, é, é, O)

S&A sont d'accord que la formation de Fe(OH)₃ est due à l'augmentation du pH

Synthèse des niveaux de connaissance mis en jeu dans l'activité B par le binôme S&A

Tableau 50 : Synthèse des niveaux de connaissance mis en jeu dans l'activité B par le binôme S&A

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par S&A
(o, Mgr) (p, é)	(é, Mgr, é, o, p, Mgr, E) (o, O, é, o, é, o) (Mgr, é, é, O)

En se référant à l'analyse a priori, pour la première démarche adoptée par S&A et représentée par (é, Mgr, é, o, p, Mgr, E), nous remarquons que les niveaux qui doivent être mobilisés sont présents mais c'est le choix de l'objet (o), mis en jeu au cours de la réaction, qui n'est pas le bon. Pour le deuxième raisonnement, S&A s'appuient seulement sur les événements et les objets reconstruits pour interpréter l'évolution du système chimique sans recours à aucun modèle. Pour le troisième raisonnement, S&A expliquent la réaction chimique à l'aide du diagramme sans évoquer les entités (o) impliquées dans cette réaction. Ainsi l'analyse des niveaux de connaissance mobilisés par S&A montre l'absence du lien (o, Mgr) entre les objets impliqués dans la réaction et le modèle mobilisé.

Binôme Y&B

L'interprétation, pour le binôme (Y&B), a résulté des deux étapes suivantes :

Hypothèse que I_2 à réagit avec $Fe(OH)_2$ et recherche d'explication de la provenance des ions Fe^{3+}

Y&B 69-70 : « ...en évitant d'agiter les deux phases ajouter avec précaution le long du tube de la soude concentrée donc le $Fe(OH)_2$ va réagir avec le I_2 (?) avec le I_2 qui se trouve dans la phase organique (?) (é, O) On doit expliquer la provenance des ions Fe^{3+} (o) »

□ lien : (é, O, o)

Tableau 51 : Niveaux de connaissance mis en jeu dans l'activité B par le binôme Y&B

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par Y&B
(o, Mgr) (p, é)	(é, O, o)

Y&B introduisent l'hypothèse de la réaction de l'iode avec le premier précipité $Fe(OH)_2$ sous forme d'interrogation. Ceci montre qu'implicitement, cette réaction qui n'obéit pas au modèle des potentiels de référence, pose un problème pour Y&B et c'est pour cette raison qu'ils ont vite abandonné cette piste pour se lancer sur la recherche des ions Fe^{3+} .

Conclusion par la réaction de $Fe(OH)_2$ avec le couple H_3O^+ / H_2

Y&B 82-89 : « Dans la phase aqueuse on a la propriété oxydante de l'eau (O, p, o) tel que $Fe(OH)_2$ s'est réagit (...) a réagit avec l'eau... c'est ça donc $Fe(OH)_2$ a réagit avec le couple de l'eau H_3O^+ / H_2 pour donner $Fe(OH)_3$ (é) »

□ lien : (O, p, o, é)

Tableau 52 : Niveaux de connaissances mis en jeu dans l'activité B par le binôme Y&B

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par Y&B
(o, Mgr) (p, é)	(O, p, o, é)

Pour trouver une explication à la réaction qui soit en accord avec le modèle des potentiels de référence, Y&B ont choisi le couple le plus oxydant(H_3O^+ / H_2) pour le faire réagir avec le premier précipité. Ils n'ont explicité aucune équation de la réaction.

Synthèse des niveaux de connaissance mis en jeu dans l'activité B par le binôme Y&B

Tableau 53 : Synthèse des niveaux de connaissance mis en jeu dans l'activité B par le binôme Y&B

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par Y&B
(o, Mgr) (p, é)	(é, O, o) (O, p, o, é)

Pour les deux raisonnements faits par Y&B, nous ne remarquons pas la présence du niveau théorique. Le binôme articule des objets et leurs propriétés pour expliquer l'événement réaction chimique. Le niveau théorique n'apparaît pas, car Y&B se sont implicitement rendus compte que le modèle des potentiels de référence ne permet pas d'expliquer la réaction; ils ont alors essayé de trouver une interprétation à l'évolution du système, en mobilisant les niveaux objet et propriété.

Pour ce binôme, nous n'avons remarqué ni intérêt pour le diagramme potentiel-pH (Mgr) ni discussion à propos de l'importance du pH du milieu dans lequel se passe la réaction d'oxydoréduction.

Binôme K&F

L'interprétation, pour le binôme (K&F) a résulté des étapes suivantes :

Raisonnement, par la loi de Le Chatelier

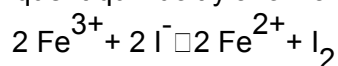
K&F 78-83 : « Pour la première phase c'est Fe²⁺ qui réagissent avec OH⁻ (Mgr, é) donc la quantité devient faible (é)... il va avoir toujours l'équilibre (é) (... ?) si il y a un manque de Fe²⁺ ça va être compensé par la réaction de Fe³⁺ (é, t) »

□ lien : (é, é, é, é, t)

Tableau 54 : Niveaux de connaissances mis en jeu dans l'activité B par le binôme K&F

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par K&F
(o, Mgr) (p, é)	(Mgr, é, é, é, é, t)

Après la formation de Fe(OH)₂ et en se basant sur la loi de Le Chatelier, K&F expliquent qu'il doit y avoir la réaction :



Cette réaction permet de régénérer les ions Fe²⁺ qui sont consommés pour la formation du premier précipité.

Référence au diagramme potentiel-pH et raisonnement à partir d'équilibre entre trois réactions

K 96 : « ...c'est Fe(OH)₂ puis après la phase transitoire on est dans la phase d'équilibre d'après le diagramme potentiel-pH on remarque que 0,6 volt on est dans le compartiment de Fe(OH)₃ donc à l'équilibre on va arriver à Fe(OH)₃(Mgr)...il y a un équilibre (é) derrière la réaction redox 2 Fe³⁺ + 2 I⁻ donne 2 Fe²⁺ + I₂ (é) et entre les deux réactions de de précipitation c'est à dire Fe³⁺ + 3 OH⁻ donne Fe(OH)₃ (é) et Fe²⁺ + 2 OH⁻ donne Fe(OH)₂ (é, t) »

□ lien : (Mgr, é, é, é, é, t)

Tableau 55 : Niveaux de connaissance mis en jeu dans l'activité B par le binôme K&F

Partie D : Analyse des données recueillies à propos de l'usage, par les étudiants, des modèles de prédiction de l'évolution d'un système oxydoréducteur

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par K&F
(o, Mgr) (p, é)	(Mgr, é, é, é, é, t)

Comme le diagramme potentiel-pH présente une zone d'équilibre entre Fe(OH)_2 et Fe(OH)_3 , K se penche sur l'équilibre entre les différentes réactions.

Argumentation implicite de l'inversion de la réaction par le modèle de Nernst

K 106 : « oui le potentiel standard de $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ est de l'ordre de 0,77 l'autre est de le potentiel standard de I_2/I^- c'est de l'ordre de 0,62 (Mnum) ils sont je pense ils sont suffisamment proches pour que la réaction avec les concentrations bien déterminées peuvent se faire dans le sens inverse (Mch) avec une grande diminution de la concentration de Fe^{3+} (é, G) »

□ lien : (o, Mnum, Mch, é, G)

Tableau 56 : Niveaux de connaissance mis en jeu dans l'activité B par le binôme K&F

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par K&F
(o, Mgr) (p, é)	(o, Mnum, Mch, é, G)

K argumente que la réaction ($2 \text{Fe}^{3+} + 2 \text{I}^- \rightleftharpoons 2 \text{Fe}^{2+} + \text{I}_2$) peut se passer dans le sens inverse car les potentiels de référence sont très proches et la concentration de Fe^{3+} est très faible.

Argumentation de la formation du second précipité par la cinétique de la réaction chimique.

K108 : « ... on doit supposer que la réaction de précipitation de Fe^{3+} (é) elle est plus vite et plus favorable (p, p) que la réaction de formation de précipité Fe(OH)_2 (é) donc pour ces deux raisons qu'il y a la dominance de Fe(OH)_3 à la fin de la réaction (é, o) »

□ lien : (é, p, p, é, é, o)

Tableau 57 : Niveaux de connaissances mis en jeu dans l'activité B par le binôme K&F

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par K&F
(o, Mgr) (p, é)	(é, p, p, é, é, o)

K argumente par le fait que la réaction est « plus vite et plus favorable (p, p) ». Les deux arguments sur lesquels K s'appuie, sont évoqués comme étant des propriétés de la réaction. K ne montre pas par quel raisonnement théorique il est arrivé à faire sa conclusion.

Synthèse des niveaux de connaissance mis en jeu dans l'activité B par le binôme K&F

Tableau 58 : Synthèse des niveaux de connaissances mis en jeu dans l'activité B par le binôme K&F

Niveaux de connaissance selon le savoir savant	Niveaux de connaissance mis en jeu par K&F
(o, Mgr) (p, é)	(Mgr, é, é, é, é, t) (Mgr, é, é, é, é) (o, Mnum, Mch, é, G) (é, p, é, p, o)

Pour les deux premiers raisonnements de K&F, le modèle géométrique a été directement articulé avec le niveau événement sans définir toutes les entités mises en jeu (o) au cours de la réaction chimique. Le niveau théorique (t) apparaît pour rendre compte des réactions chimiques sans faire un retour sur les entités chimiques impliquées. Le troisième raisonnement modélisé par (o, Mnum, Mch, é, G) met en jeu le modèle de Nernst et articule la réaction avec la grandeur concentration et les potentiels de référence. Les étudiants se réfèrent au couple Fe^{3+} / Fe^{2+} qu'ils n'identifient pas au couple $Fe(OH)_3 / Fe(OH)_2$. K&F interprètent alors la formation de $Fe(OH)_3$ par une propriété cinétique.

Synthèse des niveaux de connaissance mis en jeu dans l'activité B par les trois binômes

En s'appuyant sur notre cadre théorique et d'après l'analyse des niveaux mobilisés par les différents binômes nous constatons que, pour interpréter une évolution du système, certains étudiants (J&C, S&A) se réfèrent en premier lieu aux objets et ne mobilisent pas, au début du raisonnement, de modèle chimique. Cela se voit par exemple avec S&A pour qui la formation de $Fe(OH)_3$ ne nécessite que la présence d'ions Fe^{3+} ; cela se voit également avec le binôme J&C qui fournit l'équation de la réaction à partir des objets qu'il a identifiés et c'est seulement par la suite qu'il interprète la réaction à l'aide d'un modèle. Le binôme Y&B, quant à lui, ne se réfère pas au niveau théorique, il interprète l'évolution du système en mobilisant seulement les niveaux objet et propriété.

Contrairement à ces trois binômes, le quatrième (K&F) articule directement plusieurs types de modèles (Mgr, Mnum, Mch) avec le niveau événement sans définir toutes les entités mises en jeu. Dans un cas comme dans l'autre, il a manqué à chaque fois que objets et modèles soient simultanément pris en compte et articulés au sein d'une explication.

Nous pouvons conclure d'après l'analyse des niveaux de connaissance mobilisés par les binômes que l'absence du lien entre les objets impliqués dans la réaction et le modèle mobilisé par l'étudiant ne permet pas de vérifier si un modèle est adapté à la situation. Par conséquent, il n'est pas aisé d'adopter un nouveau modèle qui rendrait compte des entités chimiques présentes et qui permettrait d'expliquer et d'interpréter les observations expérimentales.

VII. Conclusion de la situation B

Nous constatons que pour la situation B qui est une tâche d'interprétation, les étudiants ont mobilisé des connaissances et ont adopté des stratégies similaires à celles observées

pour les situations de prédiction de l'évolution d'un système chimique (A1 et A2).

Pour les quatre binômes, l'analyse globale des réponses aux différentes questions montre que pour les trois premières questions nous repérons les mêmes difficultés et les mêmes stratégies que celles développées dans les situations A1 et A2. En effet les étudiants mobilisent abusivement le modèle des potentiels de référence et comparent des potentiels de référence même lorsqu'on leur demande explicitement de comparer des potentiels des couples mis en jeu. Pour cette situation la quatrième question présente une originalité car la détermination des couples présente une difficulté au niveau des étudiants. Aussi l'usage du diagramme potentiel-pH, pour expliquer la variation du potentiel en fonction du pH, semble ne pas avoir aidé les étudiants à expliquer et à interpréter la réaction chimique qui s'est déroulée.

Pour répondre à la quatrième question concernant l'interprétation de la réaction qui a eu lieu, tous les binômes ont adopté des démarches différentes.

Deux des quatre binômes (J&C et Y&B) se sont appuyés sur le modèle des potentiels de référence pour interpréter l'évolution du système oxydoréducteur. Le binôme J&C a raisonné selon le modèle des potentiels de référence et a cherché d'autres couples oxydoréducteurs non impliqués dans la réaction, pour satisfaire à ce modèle. Le binôme Y&B a évoqué le couple $\text{H}_3\text{O}^+ / \text{H}_2$ pour expliquer la formation du second précipité selon le modèle des potentiels de référence.

Deux des quatre binômes (J&C et S&A) se sont appuyés sur l'instabilité du premier précipité pour interpréter la formation du deuxième. Pour ces deux binômes l'instabilité est évoquée comme une propriété des entités qui n'est pas articulée à des niveaux théoriques.

Le binôme J&C a suivi le modèle de la réaction directe selon lequel le raisonnement commence par l'écriture de l'équation de la réaction.

Pour le binôme K&F, nous avons aussi repéré deux autres types de raisonnement qui s'appuient sur la loi de Le Chatelier, et sur la cinétique de la réaction. Cette dernière est évoquée comme une propriété de la réaction : « ... on doit supposer que la réaction de précipitation de Fe^{3+} (é) elle est plus vite... ».

Concernant l'exploitation du diagramme potentiel-pH, nous remarquons que pour le binôme J&C l'exploitation s'est faite soit en supposant que le pH varie alors que le potentiel reste constant et vice versa. Le binôme J&C a même conclu, en fin d'expérimentation, que le diagramme potentiel-pH est inutile. S&A ont exploité le diagramme potentiel-pH en faisant seulement varier le pH, ils ont alors conclu que la formation du second précipité est seulement dû à l'augmentation du pH. Les binômes Y&B et K&F ne se sont pas appuyés sur le diagramme potentiel-pH pour fournir la réponse.

Nous pouvons conclure, que pour interpréter l'évolution d'un système oxydoréducteur, les différents binômes ont mobilisé plusieurs modèles que nous avons repérés à travers les articulations de différents niveaux de modélisation. Les modèles appliqués par les binômes témoignent, d'après les niveaux de modélisation impliqués, d'une riche activité cognitive. En comparant les niveaux de modélisation qui doivent être

impliqués, d'après l'analyse a priori, aux niveaux mobilisés par les binômes; nous constatons que les binômes ont articulé plus de niveaux, mais ils ne sont pas arrivés à fournir la bonne réponse. Nous remarquons aussi qu'aucun des trois binômes (J&C, S&A, Y&B) n'a évoqué la grandeur concentration et l'équation de Nernst.

Seul le binôme K&F a évoqué implicitement l'équation de Nernst :

K 106 : « oui le potentiel standard de $\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$ est de l'ordre de 0,77 l'autre est de le potentiel standard de I_2 / I^- c'est de l'ordre de 0,62 (Mnum) ils sont je pense ils sont suffisamment proches pour que la réaction avec les concentrations bien déterminées peuvent se faire dans le sens inverse (Mch) avec une grande diminution de la concentration de Fe^{3+} (é, G) »

K&F est le seul binôme qui a évoqué la grandeur concentration, mais il n'a pas pris en compte le fait que le potentiel du système dépend du pH du milieu.

Conclusion

Nous avons centré notre travail sur l'analyse des activités cognitives des apprenants quand ils appréhendent des concepts fondamentaux en chimie, en nous intéressant à l'usage qu'ils font de différents modèles. En analysant les niveaux de modélisation qu'ils mobilisent lors d'activités mettant en jeu des expériences, nous nous sommes proposés de voir si l'enseignement d'un nouveau modèle, plus élaboré qu'un ancien mais traitant du même domaine, pose des difficultés spécifiques. Nous avons essayé de voir ce qui fait qu'un apprenant utilise plutôt l'ancien ou le nouveau modèle et s'il parvient à discerner les attributs et la validité de chacun d'eux.

Nous avons analysé l'activité cognitive des apprenants quand ils appréhendent des concepts fondamentaux d'atomistique (atomes, ions, molécules, liaisons chimiques, réactions chimiques) en relation avec l'appropriation du sens des demi-équations en oxydoréduction.

En faisant l'hypothèse que c'est avec les notions utilisées par les élèves que ces derniers vont pouvoir construire de nouvelles connaissances, nous avons repéré une importante mobilisation des représentations et des propriétés dans leurs réponses. Nous avons également constaté que les réponses non complètes aux questions posées présentent fréquemment des niveaux de représentation et beaucoup moins des niveaux d'événement que les réponses complètes. Ceci témoigne que les élèves qui fournissent des réponses non complètes sont plutôt enclins à représenter les transformations chimiques, c'est-à-dire à donner les équations, qu'à en traiter véritablement ; ils représentent aussi schématiquement les liaisons et les atomes, mais donnent rarement

des explications des phénomènes chimiques et des événements qui régissent la formation d'une liaison covalente par exemple. Nous avons aussi pu montrer (par une étude de corrélations entre un grand nombre de réponses) que les apprenants remplacent souvent des événements par des représentations.

Les concepts fondamentaux d'atomistique semblent ne pas être manipulés pour eux-mêmes à partir de leur définition ou de leurs propriétés. Les élèves manipulent principalement les représentations symboliques de ces concepts, en utilisant des règles régissant ces symboles, même si elles n'ont pas été enseignées, même si elles sont incorrectes. Ce fonctionnement du savoir ne permet pas d'aboutir aux conclusions attendues par l'enseignant et s'écarte du sens que porte le concept de réaction chimique. Cette dernière ne semble ainsi pas, pour les élèves, être considérée comme une réorganisation d'objets (atomes, électrons) mais résulte d'une manipulation de symboles.

En partant de l'hypothèse que l'apprentissage se fait en relation avec l'utilisation des modèles, nous avons construit des situations expérimentales qui font fonctionner différentes connaissances et différents modèles de prédictions de l'évolution d'un système oxydoréducteur. Pour décrire et analyser l'usage que font les apprenants de ces modèles, nous nous sommes appuyés sur des situations qui se sont révélées adidactiques et sur le rôle rétroactif du milieu qui peut aider l'apprenant à changer de modèle prédictif quand l'observation ne confirme pas la prédiction. Nous avons également mis les étudiants dans une activité de résolution coopérative de problème. Leur discours nous ont alors permis de prendre en compte un ensemble d'attitudes cognitives, telles que les stratégies adoptées, relatives à la situation problème.

L'analyse menée à partir de l'étude des verbalisations des étudiants montre que pour rendre compte des événements observés, les apprenants se mettent directement dans le monde reconstruit et guident les observations. Ils partent directement de l'écriture de l'équation de la réaction ; il s'agit alors du modèle de la réaction directe pour lequel le raisonnement commence par l'écriture de l'équation de la réaction dans le sens direct. Nous avons également remarqué que les apprenants mobilisent le modèle de couple de charges pour l'identification des couples mis en jeu et aussi pour l'identification des précipités et des entités formés.

Pour prévoir les réactions chimiques qui peuvent se dérouler, nous avons repéré, pour les différents binômes, l'usage intensif des pouvoirs oxydants, des pouvoirs réducteurs et de la règle du gamma ou du modèle des potentiels de référence. Ce modèle et celui de l'équation directe s'avèrent être le moyen le plus simple, car ils mettent en jeu moins de paramètres que le modèle de Nernst. Les différents binômes arrivent rarement à mobiliser les concepts de base (concentration et transfert d'électrons) pour construire le modèle de Nernst, mais ils substituent ces concepts par un formalisme qui empêche l'apprentissage et qui se restreint à un équilibrage d'équations chimiques. Les étudiants comparent des potentiels de référence même lorsqu'on leur demande explicitement de comparer des potentiels des couples mis en jeu.

Nous avons aussi constaté que les apprenants s'appuient sur l'irréversibilité de la réaction chimique. Cette irréversibilité de la réaction d'oxydoréduction n'est qu'une déduction faite à partir du modèle des potentiels de référence qui ne prend pas en compte

la réversibilité d'une réaction chimique, car il ne prévoit qu'un seul sens de l'évolution d'un système chimique.

Nous pouvons conclure, que pour interpréter l'évolution d'un système oxydoréducteur, les différents binômes ont mobilisé principalement cinq modèles : le modèle de la réaction directe, le modèle de Le Chatelier, le modèle de couples de charges, le modèle des potentiels de référence, et le modèle de Nernst. La justification de l'usage des quatre premiers modèles appliqués par les binômes témoigne, d'après les niveaux de modélisation impliqués, d'une riche activité cognitive. En comparant les niveaux de modélisation qui doivent être impliqués, d'après l'analyse a priori, aux niveaux mobilisés par les binômes; nous constatons que les binômes ont articulé plus de niveaux, mais ils ne sont pas arrivés à fournir la bonne réponse. Ceci s'explique par le fait que la grandeur concentration, qui est une grandeur de base pour construire le modèle de Nernst, est rarement évoquée.

La synthèse des résultats montre que, comme en seconde et en première, pour construire leur raisonnement, les élèves ne font pas appel aux concepts fondamentaux mais aux représentations. Dans le cas de la seconde et de la première c'était les représentations et les équations, dans notre cas c'est le modèle de couple de charges, le modèle de la réaction directe, le modèle de Le Chatelier et principalement le modèle des potentiels de référence ou la règle du gamma. Ceci nous mène à conclure que les notions sur les électrons qui n'étaient pas bien comprises lors de l'apprentissage fondamental, ne sont pas bien utilisées ultérieurement. Aussi les étudiants n'arrivent pas à faire le lien entre l'évolution du système chimique et les concentrations des entités présentes dans ce système. Dans les deux cas, au secondaire et au supérieur, les connaissances de base, électrons et concentration, sont remplacées par des formalismes qui empêchent l'apprentissage.

Du constat vers les remédiations

Ces constats nous amènent à prolonger la réflexion sur les types de remédiation que l'on peut apporter aux apprenants quand ils abordent les concepts fondamentaux et les modèles. Selon notre étude, certains aspects doivent être pris en considération pour une perspective d'amélioration de l'enseignement de la chimie.

Nous suggérons que, lors de l'introduction de nouveaux concepts, les enseignants ne se limitent pas à vérifier l'acquisition de la manipulation symbolique qui y est attachée, mais cherchent à voir si le lien avec le sens des concepts est effectivement établi. Quand, par exemple, une justification est demandée et que cette dernière peut être donnée au moyen d'outils symboliques élaborés (équation chimique, formule de Lewis etc.), il faut occasionnellement demander qu'un commentaire soit fourni. La mise en phrase de l'écriture symbolique nécessite de la part de l'apprenant une réflexion qui force à remonter au sens.

Les étudiants utilisent fréquemment des modèles inadaptés aux situations auxquelles

ils doivent faire face. Nous l'avons pointé dans le cas de l'oxydoréduction pour lequel des modèles tels que celui de Le Chatelier, le modèle du couple de charges etc. ont été rencontrés, mais nous pouvons penser que cela se présente aussi dans d'autres domaines de la chimie. Présenter des situations pour lesquelles ces modèles conduisent à des incohérences ne suffit apparemment pas. Il semble qu'il faille prendre le temps de laisser les étudiants réaliser l'inadéquation du modèle et de son utilisation avec les observations, les mesures etc. Cela peut se faire de différentes manières mais tant que ce premier objectif n'est pas atteint, il y a fort à croire que l'abandon des modèles inadaptés ne peut être possible.

Une voie possible pour faire réfléchir les étudiants sur le modèle utilisé est de les aider à établir des liens entre les niveaux macroscopique, microscopique, mais également avec les niveau de modélisation, de mesures etc.. Nous avons noté que les élèves se limitent soit à la manipulation conceptuelle des objets microscopiques, soit à celle des modèles, mais que l'articulation des deux est rarement effective. Une explicitation de cette mise en relation dans l'énoncé d'une tâche peut être un moyen d'y parvenir.

Dans notre étude les apprenants paraissent réticents à changer leur modèle simpliste contre un modèle plus sophistiqué. Ceci témoigne que les limitations du modèle simple ne sont pas apparentes. Les enseignants doivent donc saisir toute opportunité pour les faire apparaître. C'est une des conditions pour que les apprenants puissent sélectionner le modèle approprié et l'utiliser.

La dernière proposition concerne l'usage des prédictions dont il semble qu'il soit fait trop peu usage. Certes une activité expérimentale est conçue pour que les élèves s'entraînent aux techniques expérimentales mais c'est également l'occasion de confronter l'étudiant aux conséquences de l'usage qu'il peut faire des modèles. Cette approche pédagogique semble d'autant plus recommandée que l'on cherche à faire évoluer les connaissances relatives aux modèles.

Bibliographie

- Agrebi, S. & Le Maréchal, J.-F. (2003). Décrire l'évolution de l'aptitude à lexicaliser un système symbolique : cas des mécanismes en chimie organique. *Communication aux Journées de l'Ardist*. Toulouse.
- Anderson, B. (1990). Pupil's conceptions of matter and its transformation (age 12-16). *Studies in science education*. 18, 53-85.
- Arizona state university (2001). Student Preconceptions and Misconceptions in Chemistry Integrated Physics and Chemistry Modeling Workshop.
- Astolfi, J.P. & Drouin, A.-M. (1992). La modélisation à l'école élémentaire. In J.-L. Martinand. *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Didactique des disciplines. Equipe INRP/LIREST.
- Bachelard, S. (1979). Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles. In P. Delattre et M. Thellier (Eds.). *Actes du colloque. Elaboration et justification des modèles*. Vol. 1, pp. 3-18. Paris : Maloine.
- Baker, M.J. (2000). Les attitudes et leurs révisions dans le dialogue : le cas de la résolution coopérative de problèmes. *Psychologie de l'interaction*. Vol.12, n° 11, 229-265.
- Barral, F.L., Fernandez, E.G.R. & Otero, J.R.G. (1992). Secondary Students' Interpretations of the Process occurring in an Electrochemical Cell. *Journal of Chemical Education*. Vol. 69, (8) , 655-657.
- Bessot, A. & Grenier, D. (1995). Cours de DEA de didactique des disciplines scientifiques. Université Grenoble I et Université Lyon I

- Bodner, G.M. (1986). Constructivism: A theory of knowledge. *Journal of Chemical Education*. Vol. 63, 221-252.
- Bottin, J. & Mallet, J.C. (1988). *Cours de chimie 1^{re} année*. Dunod Université, Paris.
- Bottin, J., Mallet, J.C. & Fournié, R. (1989). *Cours de chimie 2^e année*. Dunod université, Paris.
- Boulabiar, A., Bouraoui, K., Chastrette, M. & Abderrabba, M. (2004). A historical analysis of the Daniell cell and electrochemistry teaching in French and Tunisian textbooks. *Journal of chemical education*. Vol. 81, 5, pp.754-757.
- Bouraoui, K. (1998). *Analyse des conceptions et étude du changement conceptuel chez des élèves tunisiens et français: conduction électrique dans les piles électrochimiques*. Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard-Lyon1, Lyon, N° 170-98.
- Bouraoui, K. & Chastrette, M. (1999). Conceptions d'élèves et d'étudiants français et tunisiens sur la conduction dans les piles électrochimiques. *Didaskalia*. 14, 39-60.
- Bresson, F. (1987). Les fonctions de représentation et de communication, *Psychologie*. Eds. Piaget, Mounoud, Bronkard. Encyclopédie de la Pleiade, pp.933-982.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Textes rassemblés et préparés par Nicolas Balacheff, Martin Cooper, Rosamund Sutherland, Virginia Warfield. Eds. La pensée sauvage.
- Brousseau, G. (1983). Obstacles épistémologiques en mathématique. *Recherches en didactique des mathématiques*. vol 4 n° 2 pp. 167-198, Eds. La pensée sauvage.
- Brousseau, G., (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol 7 n°2 pp. 33-115, Eds. La pensée sauvage.
- Buty, C. (2000). *Etude d'un apprentissage dans une séquence d'enseignement en optique géométrique à l'aide d'une modélisation en informatique*. Thèse de Doctorat, Université Lumière-Lyon2, Lyon.
- Chevallard, Y. (1986). Esquisse d'une théorie formelle de didactique. In : Laborde C. (Ed.). *Actes du premier colloque franco-allemand de didactique des mathématiques et de l'informatique*. pp.97-106. Grenoble : La pensée sauvage.
- Chi, M.T.H. (1991). Conceptual change within and across ontological categories : examples from learning and discovery in science. In R. Giere (Eds.), *Cognitive models or science: Minnesota studies in the philosophy of science*. Minneapolis, MN: university of Minnesota Press, pp. 129-186.
- Coburn, W.W. & Aikenhead, G. S. (1998). *Cultural aspects of learning science*. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International handbook of science education*. Dordrecht: Kluwer.
- Coll, R.K. & Treagust, D. F. (2003). Investigation of secondary school, undergraduate, and graduate learners' mental models of ionic bonding. *Journal of research in science teaching*. Vol. 40, n° 5, pp. 464-486.
- Coppée, S. (1993). *Processus de vérification en mathématiques chez les élèves de première scientifique en situation de devoir surveillé*. Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard-Lyon1, Lyon, 1993.

- Didier, R. & Grecias, P. (1996). *Chimie Sup. PCSI cours et exercices d'application*. Technique & Documentation, Paris.
- diSessa, A.A. (1994). What do "just plain folks" know about physics? In Olson, D. R. & Torrance, N. (Eds.), *The handbook of education and human development: New models of learning, teaching, and schooling*. Oxford: England: Blackwell.709-730.
- diSessa, A.A. (1988). Knowledge in pieces. In Forman, G. & Pufall, P. (Eds.), *Constructivism in the computer age*. Hillsdale, NJ: Erlbaum. 49-70.
- Dori, Y.J. & Hameiri, M. (2003). Multidimensional analysis system for quantitative chemistry problems : symbol, macro, micro, and process aspects. *Journal of research in science teaching*. Vol. 40, (3), 278-302.
- Driver, R. (1981). Pupils alternative frameworks in science. *European Journal of science Education*. Vol. 3, (1), 93-101.
- Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International journal of science education*. Vol.11, (5), 481-490.
- Driver, R. & Easley, J.A. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*. 5, 61-84
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75, 649-672.
- Duit, R. & Glynn, S. (1996). Mental modelling. In G. Welford, J. Osborne, & P. Scott (Eds.), *Research in science education in Europe: current issues and themes* (pp. 166-176). London: Flamer.
- Duval, R. (1993). Registre de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *IREM de Strasbourg*. n° 5 p. 37-65.
- Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine, registres sémiotiques et apprentissages intellectuels*. Peter Lang
- Ehrlich, S. & Flament, C. (1970). *Précis de statistique*. Presses Universitaires de France
- Erduran, S. (2001). Philosophy of chemistry: An emerging field with implications for chemistry education. *Science & education*, 10(6), 581-593.
- Feynman, R.P. (1994). *Six easy pieces*. Reading, MA: Helix Books
- Francoeur, E. (1997). The forgotten tool: The design and use of molecular models. *Social Studies of science*, 27, 7-40.
- Francoeur, E. (2000). Beyond dematerialization and inscription: Does the materiality of molecular models really matter? *HYLE – An international journal of the philosophy of chemistry*, 6(1), 52-69.
- Gabel, D.L. & Bunce, D.M. (1994). Research on problem solving: Chemistry. In Gabel, D.L (Eds.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. NY: MacMillan.
- Gabel, D.L. (1999). Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research : A look to the Future. *Journal of Chemical Education*, Vol. 76, n°4, pp.548-554.
- Garnett, P.J. & Treagust, D.F. (1992). Conceptual Difficulties Experienced by Senior

- High School Students of Electrochemistry: Electrochemical (Galvanic) and electrolytic Cells. *Journal of Research in Science Teaching*. Vol.29 (10), 1079-1099.
- Gentner, D. (1983). Structure mapping; a theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*. 7, 155-170.
- Gilbert, J. (1997). Models in science and science education. In J. Gilbert (Eds.), *Exploring models and modelling in science and technology education: contributions from the MISTRE group* (pp. 5-19). Reading: Faculty of education and community studies, the University of reading.
- Gilbert, J.K. (Eds.) (1993). *Models and modelling in science education*. Hatfield, UK: Association for Science Education.
- Gilbert, J.K. & Boulter, C. J. (1998). Learning science through models and modelling. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 53-66). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Gilbert, J., Boulter, C. & Rutherford, M. (1998). Models in explanations, Part 1: horses for courses? *International journal of science education*. Vol. 20(1), 83-97.
- Gilbert, J.K., Boulter, C.J. & Rutherford, M. (2000). Explanations with models in science education. In Gilbert, J.K. & Boulter, C.J. (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 193-208). Dordrecht, the Netherlands: Kluwer.
- Gillespie, R.J. (1972). *Molecular geometry*. Van Nostrand Reinhold company (Eds.).
- Giordan, A. (1991). The importance of modelling in the teaching and popularisation of science. *Impact of science on society*. 164, 321-338.
- Glynn, S.M. (1991). Explaining science concepts: A teaching-with-analogies model. In S. Glynn, R. Yeany, & B. Britton (Eds.), *The psychology of learning science* (pp. 219-240). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Granger, G. (1979). *Language et épistémologie*, Paris, Klincksieck.
- Gray, H.B. & Haight, G.P. (1982). *Principes de chimie*. Inter Édition, Paris.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of research in science teaching*. Vol. 28(9), 799-822.
- Hardwicke, A.J. (1995). Using molecular models to teach chemistry part 1 modelling molecules. *School science review*. Vol. 77(278), 59-64.
- Harisson, A.G. & Treagust, D.F. (2001). Conceptual change using multiple interpretive perspectives: two cases in secondary school chemistry. *Instructional sciences*. Vol. 29, 45-85.
- Harisson, A.G. (2001). How do teachers and textbooks writers model scientific ideas for students ? *Research in science education*. 31, 401-435.
- Harisson, A.G. & Treagust, D.F. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implication for teaching chemistry. *Science education*. Vol. 80(5), 509-534.
- Harisson, A.G. & Treagust, D.F. (1998). Modelling in science lessons: are there better ways to learn with models? *School Science and Mathematics*. Vol. 98(8), 420-429.
- Harisson, A.G. & Treagust, D.F. (2000a). Learning about atoms, molecules, and

- chemical bonds: A case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Science education*. Vol. 84(3), 352-381.
- Harisson, A.G. & Treagust, D.F. (2000b). A typology of school science models. *International journal of science education*. Vol. 22(9), 1011-1026.
- Harissons, A.G. (2000). How do teachers and textbook writers model scientific ideas for students ? Paper presented at the annual Meeting of the national association for research in science teaching, New Orleans, 29 Avril- 1 Mai.
- Hewitt, P.G. (1992). *Conceptual physics*. Menlo Park, CA: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Ingham, A.M. & Gilbert, J.K. (1991). The use of analogue models by students of chemistry at higher education level. *International journal of science education*. Vol. 13(2), 193-202.
- Johnstone, A.H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of chemical education*. Vol. 70(9), 701-705.
- Johsua, S & Dupin, J.J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Presse Universitaire de France.
- Justi, R. & Gilbert, J. (2000). History and philosophy of science through models: some challenges in the case of "the atom". *International Journal of science education*. Vol.22(9), 993-10009.
- Khun, T.S. (1996). *The structure of scientific revolutions*, 3rd. Chicago and London: the University of Chicago Press.
- Kinnear, J. & Martin, M. (1992). *Nature of biology: book one*. Milton, Queensland: The Jacaranda Press.
- Kline, M. (1985). *Mathematics and the search for knowledge*. New York: Oxford University Press.
- Koama, R.B. & Russel, J. (1997). Multimedia and understanding: expert and novice response to different representations of chemical phenomena. *Journal of research in science teaching*. Vol.34(9), 949-968.
- Larkin, J. (1983). The role of problem representation in physics. In D. Genter & A. L. Stevens (Eds.). *Mental models* (PP. 75-98). Hillsdale N. J. : Laurence Erlbaum Assoc.
- Laugier, A. & Dumon, A. (2000). Practical works and representation of chemical reaction in the macroscopic and microscopic level ; *Chemistry Education : Research and practice in Europe*. Vol 1, (1), pp. 61-75
- Le Maréchal, J.-F. (1999). Modelling student's cognitive activity during the resolution of problems based on experimental facts in chemical education. In J. Leach & A.C. Paulsen (Eds.) *Practical Work in Science Education*, pp. 195-209.
- Luisi, P.L. & Thomas, R.M. (1990). The pictographic molecular paradigm – Pictorial communication in the chemical and biological sciences. *Naturwissenschaften*, 77, 67-74
- Mainzer, K. (1999). Computational models and virtual reality. New perspectives of research in chemistry. *HYLE - An international journal of the philosophy of chemistry*. Vol.5(2), 117-126.

- Mallet, J.C. & Fournié, R. (1997). Chimie cours 2^e année. 2. *Chimie des matériaux inorganiques*. Dunod, Paris.
- Minstrell, J. (1991). Facets of students' knowledge and relevant instruction. Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies. Proceedings of an international workshop held at the university of Bremen, march 4-8, 1991. Reinders Duit, Fred Goldberg, Hans Niedderer (Eds.).
- Minstrell, J.A. (1989). Teaching science for understanding. In Resnick, L. & Klopfer, L. (Eds.), *Toward the thinking curriculum: current cognitive research*. Alexandria, VA: association for supervision and curriculum development. 129-149.
- Mortimer, E.F. & Manchado, A.H. (2000). Anomalies and conflicts in classroom discourse. *Science education*. 84, 429-444.
- Nakhleh, M.B. & Mitchell, R.C. (1993). Concept learning versus problem solving: there is a difference. *Journal of chemical education*. Vol. 70, pp. 190-192.
- Nakhleh, M.B. (1992). Why some students don't learn chemistry. *Journal of Chemical Education*. Vol.69, (3), 191-196.
- Nelson, K. (1977). Cognitive development and the acquisition of concepts. In R. C. Anderson, R. J. Spiro, and W.E. Montague (Eds.), *Schooling and the acquisition of Knowledge*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Novak, J.D. (1977). *A theory of education*. Ithaca: Cornell University Press.
- Ogude, A.N. & Bradley, J.D. (1994). Ionic conduction and electrical neutrality in operating electrochemical cells. *Journal of Chemical Education*. Vol. 71, (1), 29-34.
- Pekdag, B. & Le Maréchal, J.-F. (2001). Apprentissage comparé de la notion de réaction chimique en TP ou à l'aide d'une vidéo : rôle des observations faites par les élèves. *Skhôle, Cahier de la Recherche et du Développement*, numéro hors série, IUFM académie d'Aix-Marseille, pp.129-141.
- Perry, W.G. (1970). *Forms of intellectual and ethical development in the college years*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Pimentel, G.C. (Ed.). (1963). *Chemistry : an experimental science*. San Francisco: W. H. Freeman & Co.
- Rapport : Etude de la mise en œuvre et de l'élaboration des notions fondatrices dans les situations d'enseignement : le cas de l'enseignement des sciences et des mathématiques.(1999). CNCRE-UMR-GRIC-COAST, CNRS & Université Lumière Lyon-2
- Resnick, L. (1982). *A new conception of mathematics and science learning*, learning research and development center, University of Pittsburgh.
- Resnick, L.B. (1981). Instructional psychology. *Annual Review of Psychology*. Vol. 32, 659-704.
- Rollnick, M., Zwane, S., Staskun, M., Lotz, S. & Green, G. (2001). Improving pre-laboratory preparation of first year university chemistry students. *International Journal of science education*. Vol. 23, 10, 1053-1071.
- Rosenberg, J.L & Epstein, L.M. (1993). *Chimie générale*. Mc Graw Hill Inc, Paris.
- Rowell, J.A., Dawson, C.J. & Lyndon, H. (1990). Changing misconceptions: a challenge

- to science educators. *International Journal of Science Education*. Vol.12, (2), 167-175.
- Runo, J.R. & Peters, D.G. (1993). Climbing a potential ladder to understanding concepts in electrochemistry. *Journal of Chemical Education*. Vol.70, (9), 708-713.
- Sanger, M.J. & Greenbowe, T.J. (1997). Students' misconceptions in electrochemistry: Current flow in electrolyte solutions and the salt bridge. *Journal of Chemical Education*. Vol.74, (7) , 819-823.
- Sarrazin, J. & Verdaguer, M. (1991). *L'oxydoréduction, concepts et expériences*. Ellipse, Paris.
- Schmidt, H.J. (1995). Applying the concept of conjugation to the Bronsted theory of acid-base reactions by senior high school students from Germany. *International journal of Science Education*. Vol. 17. n°6,pp.733-741.
- Scott, P.H., Asoko, H.M., & Driver, R.H. (1991). Teaching for conceptual change: A review of strategies. In R. Duit, F. Goldberg, & H. Niedderer (Eds.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies*. Kiel:IPN
- Stavridou, H. & Solomonidou, C. (2000). Représentation et conceptions des élèves grecs par rapport au concept d'équilibre chimique. *Didaskalia*. n°1,pp.107-134
- Stavridou, H. & Solomonidou, C. (1989). Physical phenomena-chemical phenomena : do pupils make the distinction ? *International journal of science education*. Vol. 11, (1), 83-92.
- Stavy, R. & Berkovitz, B. (1980). Cognitive conflict as a basis for teaching quantitative aspect of the concept of temperature. *Science education*, 64, 679-692.
- Sutton, C. (1992). Figuring out a scientific understanding. *Journal of research in Science Teaching*. Vol. 30, 1215-1228.
- Sutton, C.(1991). *Words, science and learning*. Buckingham, UK: Open University Press
- Taber, K.S. & Watts, M. (1997). Constructivism and concept learning in chemistry: Perspectives from a case study. *Research in education*. 58, 10-20.
- Taber, K.S. (1997). Student understanding of ionic bonding: Molecular versus electrostatic framework. *School science review*.78, 85-95.
- Taber, K.S. (2000). Multiple frameworks? Evidence of manifold conceptions in individual cognitive structure. *International journal of science education*. Vol. 22, 399-417.
- Taber, K.S. (2001a). Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research. *Chemical education: research and practice in Europe*. Vol. 2, 123-158.
- Taber, K.S. (2001b). Shifting sands: A case study of conceptual development as competition between alternative conceptions. *International journal of science education*. Vol. 23, 741-753.
- Teichert, M.A. & Stacy, A.M. (2002). Promoting understanding of chemical bonding and spontaneity through Student explanation and integration of ideas. *Journal of Research in Science Teaching*. Vol.39, (6), 464-496.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations.

- Learning and Instruction*. Vol. 4. n°1, pp.71-87.
- Tiberghien, A. (1995). Les conceptions. Cours DEA de didactique des disciplines scientifiques, Université de Lyon 1.
- Treagust, D.F., Chittleborough, G.D. & Mamiala, T.L. (2004). Students' understanding of the descriptive and predictive nature of teaching models in organic chemistry. *Research in science education*, 34, 1-20.
- Tsoumpelis, L. & Gréa, J. (1995). Essai d'application de la théorie des situations en sciences physiques. Apprentissage de la concentration molaire en classe de première S (Grade 11 U. S.). *Recherches en didactique des mathématiques*. Vol. 15 n° 2 pp. 63-108
- Van Driel, J.H. (1998). Teachers' knowledge about the nature of models and modelling in science, Paper presented at the annual meeting of the national association for research in science education, San Diego, 19-22.
- Van Driel, J.H. & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling science. *International journal of science education*. Vol.21(11), 1141- 1154.
- Van Driel, J.H., De Vos, W., Verloop, N. & Dekkers, H. (1998). Developing secondary students' conceptions of chemical reactions: the introduction of chemical equilibrium. *International journal of science education*. Vol.20, (4), 379-392.
- Vergnaud, G. (1981). Quelques orientations théoriques et méthodologique des recherches françaises en didactiques des mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*. Vol. 2 n° 2 pp. 215-232, ed. La pensée sauvage, Grenoble.
- Vergnioux, A. (1991). *Pédagogie et théorie de la connaissance, Platon contre Piaget ?* Peter Lang (Eds.), Berne.
- Vergnioux, A. (1993). *Sciences cognitives et didactiques. Pluridisciplinarité dans les sciences cognitives*. Textes réunis par O. Boussaid, M. Brissaud, G. Ritschard, J-P. Royet. Editions Hermes. Paris.
- Vermersch, P. (1991). L'entretien d'explicitation. *Les cahiers de Beaumont*. Vol. 52 bis-53, pp. 63-70.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*. 4, 45-69.
- Vosniadou, S. & Brewer, W.F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive psychology*. Vol.24, 535-585