

UNIVERSITÉ DE YAOUNDE I

**CENTRE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN
SCIENCES HUMAINES, SOCIALES
ET EDUCATIVES**

**UNITÉ DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN
SCIENCES DE L'ÉDUCATION ET
DE L'INGÉNIERIE ÉDUCATIVE**



THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

**POST COORDINATE SCHOOL FOR
SOCIAL AND EDUCATIONAL
SCIENCES**

**DOCTORAL UNIT OF RESEARCH
AND TRAINING IN SCIENCES OF
EDUCATION AND EDUCATIONAL
INGENEERING**

**ENSEIGNEMENT-APPRENTISSAGE DE LA CHIMIE EN CLASSE DE
PREMIÈRE SCIENTIFIQUE AU CAMEROUN : CONSTRUCTION DU
CONCEPT DE NOMBRE D'OXYDATION PAR LA SIMULATION
NUMÉRIQUE COMME MODE DE TRANSPOSITION DIDACTIQUE**

Mémoire présenté en vue d'obtention du diplôme de Master en Sciences de l'éducation
et ingénierie éducative.

FILIERE : didactique des disciplines

SPECIALITE : didactique de chimie

Par

MFOUAPON MOULIOM Hassan

Titulaire d'une licence en chimie

Matricule : **19Y3461**

Sous la direction de

DONGO Etienne

et

AYINA BOUNI

Professeur

Maitre de conférences



JUIN 2023

SOMMAIRE

SOMMAIRE	I
DEDICACE	II
REMERCIEMENTS	III
LISTE DE FIGURES	IV
LISTE DE TABLEAUX	VI
SIGLES ET ABBREVIATIONS	VII
LISTE DES ANNEXES.....	VIII
RESUME.....	IX
ABSTRACT.....	X
INTRODUCTION GENERALE.....	1
PARTIE 1 : CADRE THÉORIQUE DE L'ÉTUDE	4
CHAPITRE 1 : PROBLEMATIQUE DE LA RECHERCHE.....	5
CHAPITRE 2 : ETUDE CONCEPTUELLE	20
PARTIE 2 : CADRE MÉTHODOLOGIQUE DE L'ÉTUDE	47
CHAPITRE 3 : METHODOLOGIE DE RECHERCHE.....	49
CHAPITRE 4 : PRESENTATION ET ANALYSE DES DONNEES.....	68
CONCLUSION GENERALE.....	93
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE.....	95
ANNEXE.....	XI
TABLE DES MATIERES.....	XXIII

DEDICACE

À

Mes chers parents, papa **MOULIOM Idrissou** et maman **MFACHOU Mariama**

Et

À mon cher frère **NDAM MOULIOM Iliassou** d'heureuse mémoire.

REMERCIEMENTS

Ce travail de recherche n'a été réalisé qu'avec le soutien de :

- ❖ **M. FOUDA André**, le Proviseur du Lycée de Ngoa-Ekellé ;
- ❖ **Pr. BELA Cyrille Bienvenu**, Doyen de la Faculté de Sciences de l'Education ;
- ❖ **Pr. NKECK Renée Bidias**, Chef de Département de didactique des disciplines ;
- ❖ **Pr. KENFACK Ephrem** (Président), **Pr. NTEDE NGA** (Examineur), **Pr. DONGO Etienne** (rapporteur) et **Pr. AYINA BOUNI** (rapporteur), membres du jury ;
- ❖ Laboratoire de Recherche Interdisciplinaire en Didactique (**LARIDI**) ;
- ❖ **Dr. AWOMO ATEBA Jérémie** et **MOULIOM NDAM Emmanuel**, aînés académiques au **LARIDI** ;
- ❖ **M. SOH Herman**, Surveillance Général au lycée de Ngoa-Ekellé
- ❖ Ma chère épouse, **MVUH PAM Fatima** ;
- ❖ Mes chers parents, **papa MOULIOM Idrissou**, **maman MFACHOU Mariama** et **maman FEUGOM Pasma** ;
- ❖ Mes Sœurs et Frères de la **famille MOULIOM**.

Je vous adresse tous mes remerciements.

LISTE DE FIGURES

FIGURE 1 : RELATIONS POSSIBLES POUVANT S'ÉTABLIR ENTRE LES DIFFÉRENTS PLANS (BEAUFILS, 2003)	33
FIGURE 2 : ESPACE DE RÉALITÉ ET ESPACE DES SIGNES	34
FIGURE 3: CHAÎNE DE LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE A LA LUMIÈRE DES TRAVAUX DE CHEVALLARD ET DE PERRENOUD	37
FIGURE 4: DISTINCTION ENTRE DEUX MONDES, FONDÉE SUR LA MODÉLISATION EN PHYSIQUE (TIBERGHIEU & VINCE, 2005, P. 4)	45
FIGURE 5: ZONE PROXIMALE DE DÉVELOPPEMENT DE VYGOTSKY	47
FIGURE 6: QUELQUES CLICHÉS DE LA VIDÉO DE SIMULATION NUMÉRIQUE	61
FIGURE 7: RAPPEL DES PRÉREQUIS	62
FIGURE 8: DISPOSITION DES ÉLÈVES DANS LA SALLE DE CLASSE LORS DE L'EXPÉRIMENTATION	63
FIGURE 9: RÉSULTAT DU GROUPE TÉMOIN	70
FIGURE 10: RÉSULTAT DU GROUPE EXPÉRIMENTAL	72
FIGURE 11: RÉSULTATS DU PRÉ-TEST ET DU POST-TEST	73
FIGURE 12: RÉSULTAT DU GROUPE TÉMOIN ET DU GROUPE EXPÉRIMENTAL POUR LA QUESTION 1	75
FIGURE 13: RÉSULTAT DU GROUPE TÉMOIN ET DU GROUPE EXPÉRIMENTAL POUR LA QUESTION 2	76
FIGURE 14: RÉSULTAT DU GROUPE TÉMOIN ET DU GROUPE EXPÉRIMENTAL POUR LA QUESTION 3	77
FIGURE 15: EXEMPLE DE CAS DE REPLI SUR UN MODÈLE (COPIE DE L'ÉLÈVE DE CODE ELX5 DE LA PREMIÈRE D ₂ DU GROUPE EXPÉRIMENTAL)	78
FIGURE 16: RÉSULTATS DU GROUPE TÉMOIN ET DU GROUPE EXPÉRIMENTAL POUR LA QUESTION 4	80
FIGURE 17: EXEMPLE DE RÉPONSE DONNÉ PAR 56% DES RÉPONDANTS DU GROUPE TÉMOIN (COPIE DE L'ÉLÈVE DE CODE ET ₁₀ DU GROUPE TÉMOIN)	81
FIGURE 18: EXEMPLE DE JUSTIFICATION DONNÉE PAR 12% DES RÉPONDANTS DU GROUPE TÉMOIN (COPIE DE L'ÉLÈVE DE CODE ET ₂₂ DU GROUPE TÉMOIN)	81

FIGURE 19: EXEMPLE DE RÉPONSE DONNÉE PAR LA MAJORITÉ DE 80% DES RÉPONDANTS DU GROUPE EXPÉRIMENTAL (COPIE DE L'ÉLÈVE DE CODE EX ₂ DU GROUPE EXPÉRIMENTAL).....	82
FIGURE 20: RÉSULTATS DU GROUPE TÉMOIN ET DU GROUPE EXPÉRIMENTAL POUR LA QUESTION 5.....	83
FIGURE 21: EXEMPLE DE RÉPONSE DONNÉE PAR LA MAJORITÉ DE 08% DES RÉPONDANTS DU GROUPE TÉMOIN (COPIE DE L'ÉLÈVE DE CODE ET ₁₇ DU GROUPE TÉMOIN).....	84
FIGURE 22: EXEMPLES DE RÉPONSE DONNÉE PAR 76% DES RÉPONDANTS DU GROUPE EXPÉRIMENTAL (COPIE DES ÉLÈVES DE CODE EX ₂ ET EX ₃ DU GROUPE EXPÉRIMENTAL).....	84
FIGURE 23: RÉSULTATS DU GROUPE TÉMOIN ET DU GROUPE EXPÉRIMENTAL POUR LA QUESTION 6.....	85
FIGURE 24: EXEMPLES DE RÉPONSE DONNÉE DES RÉPONDANTS DU GROUPE TÉMOIN (COPIE DES ÉLÈVES DE CODE ET ₄ ET ET ₂₄ DU GROUPE TÉMOIN).....	85
FIGURE 25: EXEMPLES DE RÉPONSE DONNÉE PAR 56% DES RÉPONDANTS DU GROUPE EXPÉRIMENTAL (COPIE DES ÉLÈVES DE CODE EX ₂ ET EX ₃ DU GROUPE EXPÉRIMENTAL).....	86
FIGURE 26: RÉSULTATS DU GROUPE TÉMOIN ET DU GROUPE EXPÉRIMENTAL POUR LA QUESTION 8.....	87
FIGURE 27: EXEMPLES DE RÉPONSE DONNÉE 24% DES RÉPONDANTS DU GROUPE TÉMOIN (COPIE DE L'ÉLÈVE DE CODE ET ₁₃ DU GROUPE TÉMOIN).....	88
FIGURE 28: EXEMPLES DE RÉPONSE DONNÉE PAR 52% DES RÉPONDANTS DU GROUPE EXPÉRIMENTAL (COPIE DES ÉLÈVES DE CODE EX ₂ ET EX ₄ DU GROUPE EXPÉRIMENTAL).....	88
FIGURE 29: RÉSULTATS DU GROUPE TÉMOIN ET DU GROUPE EXPÉRIMENTAL POUR LA QUESTION 7.....	89
FIGURE 30: RÉSULTATS DU PRÉ-TEST ET DU POST-TEST DES QUESTIONS Q.4, Q.5, Q.6 ET Q.8.....	90

LISTE DE TABLEAUX

TABLEAU I: RÉCAPITULATIF DES RÉSULTATS DU PRÉ-TEST	68
TABLEAU II: DÉPOUILLEMENT DU PRÉ-TEST	69
TABLEAU III: RÉCAPITULATIF DES RÉSULTATS DU POST-TEST	70
TABLEAU IV: DÉPOUILLEMENT DU POST-TEST (GROUPE EXPÉRIMENTAL)	71
TABLEAU V: RÉCAPITULATIF DES RÉSULTATS DU PRÉ-TEST ET DU POST-TEST	72

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

APC : Approche Par Compétence,

APO : Approche par Objectifs,

CPU : Central Processing Unit,

DI : Démarche d'Investigation,

GB : Giga Bits,

LARIDI : Laboratoire de Recherche Interdisciplinaire en Didactique,

MKO : More Knowledgeable Others,

NAP : Nouvelle Approche Pédagogique,

n.o : nombre d'oxydation,

PAG : Principe d'Adaptation aux Groupes cibles,

PC : Principe de Concision,

PCL : Principe de Clarté,

PEA : Principe d'Explication et d'Adaptation,

PGA : Principe de Généralisation et Abstraction,

PH : Potentiel d'Hydrogène,

PNT : Principe de Non-Tautologie,

PP : Principe de Prévisibilité,

PS : Principe de Substitution,

RAM : Random Access Memory,

TIC : Technologie de l'Information et de la Communication,

TICE : Technologie de l'Information et la Communication pour l'Education,

ZPD : Zone Proximale de Développement.

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Autorisation de recherche de la faculté des sciences de l'éducation.

ANNEXE 2 : Autorisation de recherche de la faculté des sciences de l'éducation marquée de l'approbation du proviseur du Lycée de Ngoa-Ekellé.

ANNEXE 3 : questionnaire de recherche.

ANNEXE 4 : programme de chimie de classe de Première C et D de l'enseignement secondaire général au Cameroun.

RÉSUMÉ

L'enseignement-apprentissage des concepts de l'oxydoréduction est d'autant complexe que ces concepts. Cette étude, qui s'inscrit dans le cadre de mémoire de fin du cycle de master, vise à montrer la contribution de la simulation numérique dans la construction du concept de nombre d'oxydation par les apprenants de la classe de première scientifique de l'enseignement général au Cameroun. Pour parvenir à cet objectif, une vidéo de la simulation numérique de la répartition électronique entre les atomes d'une espèce chimique a été conçue ; la vidéo que les apprenants ont suivie avec beaucoup d'attention. La répartition se fait évidemment en fonction l'électronégativité de ces différents atomes qui constituent l'espèce chimique. Cinquante (50) apprenants de la classe de première scientifique (C et D) du lycée de Ngoa-Ekellé dont vingt-cinq (25) des premières D₁, D₃, D₄ et C qui constituent le groupe témoin (ayant participé aux enseignements classiques de leurs enseignants) et vingt-cinq (25) autres de la première D₂ qui constituent le groupe expérimental (ayant participé uniquement à la séance d'enseignement-apprentissage expérimentale). Les deux groupes ont rempli les questionnaires papier-crayon dont le groupe expérimental après le test (séance d'enseignement-apprentissage sur le concept de nombre d'oxydation avec l'usage de la simulation numérique). Les résultats de cette enquête sont tels que le groupe témoin a un pourcentage moyen de réponses justes de 18% et celui du groupe expérimental a un pourcentage moyen de réponses justes de 71%. La comparaison de ces résultats permet de conclure en toute confiance que la simulation numérique de la répartition électronique entre les atomes d'une espèce chimique favorise significativement la construction du concept d'oxydation. Cette étude montre également la limite ou l'inadaptation de la méthode logicomathématique privilégiée dans les manuels scolaires au programme et par les enseignants pour déterminer le nombre d'oxydation d'un atome.

Mots-clés : enseignement-apprentissage - simulation numérique - nombre d'oxydation - répartition électronique.

ABSTRACT

The teaching-learning of the concepts of oxidation-reduction is all the more complex as these concepts. This study, which is part of the end thesis of the master's cycle, aims to show the contribution of numerical simulation in the construction of the concept of oxidation number by learners of the first scientific class of general education in Cameroon. To achieve this objective, a video of the numerical simulation of the electronic distribution between the atoms of a chemical species was designed; the video that the learners have followed with great attention. The distribution is made according to the electronegativity of these different atoms which constitute the chemical species. Fifty (50) learners from the Première (C and D) of the Ngoa-Ekellé high school, including twenty-five (25) from the Première D₁, D₃, D₄ and C who constitute the control group (having participated in the classical teachings of their teachers) and twenty-five (25) others from the Première D₂ who constitute the experimental group (having participated only in the experimental teaching-learning session). Both groups filled out the paper-and-pencil questionnaires, including the experimental group after the test (teaching-learning session on the concept of oxidation number with the use of numerical simulation). The results of this survey are such that the control group has an average percentage of correct answers of 18% and that of the experimental group has an average percentage of correct answers of 71%. The comparison of these results leads to conclude with confidence that the numerical simulation of the electronic distribution between the atoms of a chemical species significantly favors the construction of the concept of oxidation. This study also shows the limit or the unsuitability of the logicomathematic method favored in school textbooks for the curriculum and by teachers to determine the oxidation number of an atom.

Keywords: teaching-learning - numerical simulation - oxidation number - electronic distribution.

INTRODUCTION GENERALE

La chimie est une science qui regorge plusieurs concepts. Au Cameroun, elle est enseignée dès l'école primaire jusqu'à l'enseignement supérieur. Son apprentissage nécessite la compréhension des concepts qui y sont associés tels acide, atome, nombre d'oxydation, mole, équilibre chimique, configuration électronique, PH, électron, etc.

Le nouveau programme de chimie au secondaire « vise une bonne assimilation des concepts de chimie liés à des applications technologiques ou à des phénomènes de la vie quotidienne, à la santé et à l'environnement » par les élèves. (*Programme d'études de première C et D - Cameroun : chimie*).

Lors des enseignements/apprentissages, les élèves font montre des difficultés à comprendre, à construire ou s'approprier certains de ces concepts. Ces difficultés ont suscité des nombreuses recherches en didactique de chimie. D'une part, pour identifier ses sources et d'autre part, pour y remédier. C'est à l'exemple des travaux de (Lafarge, 2010) , de (SNAUWAER, 2015) et de (Halloun, Novembre 2019).

Les difficultés d'enseignement-apprentissage sur l'oxydoréduction ont suscité des nombreuses études recherches en didactique. Mohamed SOUDANI et al (1996) ont effectué un travail de recherche dans le but de faire le bilan des acquis des élèves de sections scientifiques entrant en première année universitaire et issu du programme de 1^{ère} S sur le concept d'oxydoréduction, et de localiser les sources des difficultés qu'ils rencontrent à ce propos. Sur l'échantillon de 233 étudiants de première année universitaire (section scientifique, 1994/1995) avant qu'ils n'abordent l'oxydoréduction à ce niveau, ils ont utilisé le papier crayon comme outil de collecte de données. Suite à quoi, ils sont arrivés à constater que les étudiants ne maîtrisent pas les concepts d'oxydoréduction, que le modèle électronique est limité (pour comprendre l'oxydoréduction) et à montrer l'intérêt et l'utilité de la notion de nombre d'oxydation dans l'apprentissage de cette notion d'oxydoréduction. Après cette étude, la recommandation d'intégrer le modèle de nombre d'oxydation dans l'enseignement-apprentissage de l'oxydoréduction en classe de 1^{ère} Scientifique que SOUDANI a formulée a été prise en compte. C'est alors qu'ils (SOUDANI et al), en 1998, ont mené pour la deuxième partie le travail de recherche dans l'objectif était de faire un bilan des acquis en oxydoréduction des élèves arrivant à l'université et issus du nouveau programme de 1^{ère} S (1994/95) et faire une étude comparative entre les acquis de ces élèves et de ceux issus du programme précédent afin de tenter d'identifier

quelques origines de leurs difficultés. Se servant du papier crayon comme outil de collètes de données, ils ont travaillé sur un échantillon de 362 étudiants de 1^{ère} année universitaire (1996/97, section scientifique), subdivisé en groupe dont le premier groupe (G_1) est constitué de 105 étudiants issus de l'ancien programme des 1^{ère} S (ce groupe a été testé dans l'étude précédente), le second groupe (G_2) est constitué de 128 étudiants «redoublants» en première année universitaire (1996/97) et issus de l'ancien programme des 1^{ère} S et le troisième groupe (G_3) est constitué de 129 étudiants de 1^{ère} année universitaire (1996/97) et issus du nouveau programme des 1^{ère} S. Cette étude a eu comme entre autres les résultats suivants :

- A la question « donner une définition du nombre d'oxydation d'un élément » (Mohamed SOUDANI D. C., 1998), 4% du groupe G_1 , 11% du groupe G_2 et 7 % du groupe G_3 ont donné la réponse attendue. « Près de la moitié du groupe G_2 et les 2/3 des deux autres groupes n'ont pas donné de réponses » (Mohamed SOUDANI D. C., 1998)
- A la question « calculer le nombre d'oxydation de l'élément soufre dans les entités S_8 , SO_2 et $S_2O_8^{2-}$ en justifiant la méthode de calcul » (Mohamed SOUDANI D. C., 1998), ils ont constaté une amélioration nette des étudiants dans le calcul de nombre d'oxydation, surtout ceux du groupe G_2 . Mais toujours est-il que les étudiants ne parviennent pas à la bonne réponse lorsqu'il s'agit de cas plus ou moins complexe comme celui où on demande de calculer le nombre d'oxydation de l'élément soufre (S) dans $S_2O_8^{2-}$

A l'issu de cette deuxième étude, SOUDANI et al sont parvenus à la conclusion selon laquelle les élèves ont des difficultés considérables sur la notion d'oxydoréduction et que le concept de nombre d'oxydation leur est non connu ou bien mal connu. Ils ont souligné que les étudiants se penchent davantage sur les algorithmes et les problèmes de calcul en négligeant le vrai sens des concepts qu'ils utilisent. Ces travaux notent l'interférence de langage commun avec le sens scientifique, de manque de repères mnémotechniques ainsi que la complexité du champ conceptuel de l'oxydoréduction comme sources de difficultés. Kenneth Adu-Gyamfi (2018) a mené des recherches dans le même objectif que Soudani (1996) et est parvenu à la conclusion selon laquelle les élèves ne définissent pas bien le concept de nombre d'oxydation et ne savent pas véritable le déterminer pour un élément. Il a également noté la barrière linguistique, la confusion faite par les élèves entre le nombre d'oxydation et les charges ioniques et de la difficulté liée à l'enseignement du concept de nombre d'oxydation.

Ces travaux antérieurs montrent que les apprenants ont des difficultés de pouvoir définir le nombre d'oxydation, de déterminer le nombre d'oxydation d'un élément dans un groupe

atomique et quand bien même de mobiliser ce concept pour reconnaître les phénomènes d'oxydoréduction.

Dans l'objectif de minimiser ou réduire les obstacles d'enseignement-apprentissage des concepts de la science qui sont pour plusieurs de l'ordre de l'abstraction ou microscopique, les recherches en didactique ont conduit à l'élaboration des différents modes de transpositions tels que la démarche d'investigation, la simulation et l'analogie, qui puissent favoriser la compréhension (l'appropriation) de ces concepts. Celle de la simulation a évolué avec l'avancée technologique, on parle aujourd'hui de simulation numérique par usage d'un outil informatique. Le concept de nombre d'oxydation révèle de la pure abstraction et donc l'apprentissage nécessite l'usage d'une transposition didactique qui puisse permettre la transition entre la dimension phénoménographique (une simple image du réel basée sur la perception sensorielle) vers la dimension phénoménologique (une image mentale basée sur des concepts et de modèles) et vice versa pour faciliter au cerveau de l'apprenant. « La simulation permet de rendre concret un phénomène abstrait et comprendre un phénomène du point de vue scientifique, c'est d'être capable de le modéliser (conceptualiser) » (AYINA BOUNI, 2007). Elle semble donc la transposition qui puisse faciliter l'enseignement-apprentissage du concept de nombre d'oxydation. Du fait de l'implication de l'usage de la technologie de l'information et de la communication dans le système éducatif camerounais, nous allons nous permettre d'opter pour une simulation avec l'utilisation d'un ordinateur, la simulation numérique.

Il est question pour cette étude de montrer comment la simulation numérique (mode de transposition didactique) favorise la construction du concept de nombre d'oxydation.

Cette étude est subdivisée en cinq chapitres regroupés en deux parties ainsi qu'il suit :

- **Partie 1 : cadre théorique d'étude.** Elle contient le chapitre 1 qui présente la problématique de la recherche et le chapitre 2 qui présente l'étude conceptuelle (l'état de littérature de la recherche et l'insertion théorique).
- **Partie 2 : cadre méthodologique d'étude.** Elle contient le chapitre 3 qui présente la méthodologie de l'étude et le chapitre 4 qui présente les résultats obtenus et leur analyse.

PARTIE 1 : CADRE THÉORIQUE DE L'ÉTUDE

CHAPITRE 1 : PROBLÉMATIQUE DE LA RECHERCHE

1.1. Contexte de l'étude

Les recherches en science de l'éducation et particulièrement en didactique des disciplines ont permis la formulation de plusieurs théories et l'élaboration des plusieurs approches d'enseignement/apprentissage. De la théorie behavioriste à celle constructiviste ; la prise en compte des interactions (débat scientifique) sur la construction du savoir à conduit à la théorie socioconstructiviste qui est celle la plus adaptée et utilisée dans le contexte d'enseignement générale dans plusieurs pays africains. De l'Approche Par Objectifs (APO) à la Nouvelle Approche Pédagogique (NAP), on parle aujourd'hui de l'Approche Par les Compétences (APC). L'APC s'est avérée plus efficace par rapport à l'APO et NAP à travers son principe d'entrée par la situation-problème en relation avec la vie quotidienne. Cette entrée par la situation-problème est un stimulus qui amène l'apprenant à mobiliser ses capacités cognitives dans le but d'apporter de solution à un problème. Y faisant, il fait appel, sans toutefois se rendre compte, à des concepts scientifiques bien qu'ils soient convoqués sur la base d'une acception commune ou sociale. C'est là, le début d'une construction du savoir. L'interaction qui caractérise cette approche permet le débat cognitif entre apprenants. C'est par ce débat que les perceptions ou les conceptions de ces derniers vont être progressivement modifiées afin de permettre une restructuration de leurs milieux intérieurs (leur réseau conceptuel). Toutefois, la plupart des concepts de la science relèvent de la pure abstraction et les concevoir exige une transposition didactique appropriée.

L'APC est adoptée dans système éducatif camerounais depuis l'an 2000 pour l'école primaire et à l'enseignement secondaire général en 2013. Son implémentation a été plutôt progressive de la classe de 6^{ème} (2013) jusqu'en qu'en classe de Terminale en 2020. Cependant, son application dans les salles de classes reste encore problématique, aussi, étant donné que les enseignants n'ont pas été véritablement formés dans ce contexte. Du coup, même comme le paradigme d'enseignement ait changé, on ne constate pas une amélioration notable entre les taux de réussite dans l'approche par objectif et ceux dans l'approche par compétences. En classe de Première de l'enseignement secondaire général, les taux de réussite à l'examen de probatoire des années 2017 et 2018 (années avant l'APC) sont respectivement 37,77% et 54,30% et en 2019, 2020 et 2021 (années avec l'APC) sont respectivement 43,82%, 31,22% et 4,88%. En l'asse de Terminale, les taux de réussite des années 2018, 2019 (avant APC) sont respectivement

52,28%, 60,50% et pour les années 2020 et 2021 (avec l'APC) sont 47,22% et 73,54%. Loin de minimiser l'apport de l'approche de l'APC, nous voulons marquer que l'enseignement ne sera optimal que par la construction par des élèves des concepts contenus dans les programmes scolaires. Cette construction des concepts par les élèves passera par l'usage des modes de transposition appropriés et également par l'élaboration d'un contenu d'enseignement approprié.

1.2. Formulation du problème

Pour arriver à la formulation du problème de recherche, nous sommes partis d'un constat que nous avons validé à travers les réponses à un petit questionnaire passé auprès des personnes scolarisées dans la ville de Yaoundé.

1.2.1 Constat

Au Cameroun, en classe de première scientifique de l'enseignement général, l'enseignement/apprentissage de la chimie s'étend sur une durée de 50 heures et est subdivisé en deux modules dont la chimie organique (24 heures) et l'oxydoréduction (26 heures). Dans le module d'oxydoréduction, il est attendu des apprenants de cette classe scientifique entre autres d'être capables de définir les termes tels qu'oxydoréduction, oxydant et réducteur, oxydation et réduction (suivant le modèle électronique et le modèle de nombre d'oxydation), de calculer le nombre d'oxydation d'un élément dans un groupe d'atomes, d'utiliser le nombre d'oxydation pour reconnaître et équilibrer une réaction d'oxydoréduction. Il faut rappeler que l'oxydoréduction, dans cette classe, est enseignée suivant deux modèles dont le modèle électronique (transfert d'électrons) et le modèle de nombre d'oxydation (variation de nombre d'oxydation). Dans le cadre de cette étude, nous nous intéressons particulièrement sur le modèle de nombre d'oxydation.

Alors que nous étions en classe de première scientifique générale en 2012, le module sur l'oxydoréduction ne nous était pas du tout facile à comprendre, nous n'aimions pas ce module par rapport à comparer à celui sur la chimie organique. Pendant qu'on croyait avoir compris quelque chose, nos notes de séquences nous montraient le contraire. Dans ces difficultés d'apprentissage, nous nous étions résolus à ne jamais comprendre ce module et particulièrement sur l'oxydoréduction par voie sèche où le nombre d'oxydation était central. Après une année à l'université en 2014 (après le cours sur l'oxydoréduction), notre sentiment sur l'oxydoréduction par voie sèche ne s'était pas véritablement amélioré. C'est cette expérience personnelle qui nous

a motivés à travailler sur ce thème. Cette expérience est d'ailleurs semblable à ce que décrit SOUDANI dans ses travaux en 1998 sur thème « Difficultés d'apprentissage du concept d'oxydoréduction » -*Deuxième partie*- (Mohamed SOUDANI D. C., 1998).

Après une décennie, la situation d'enseignement/apprentissage n'a pas véritablement changé à ce qui concerne les contenus d'enseignement et le choix de la transposition. C'est alors qu'un questionnaire de six items a été distribué à 10 individus scolarisés (dont 03 étudiants à faculté des sciences de l'université de Yaoundé 1, 03 élèves de la classe de Terminale scientifique générale, 02 élèves redoublants en classe de première scientifique, et 02 élèves nouveaux classe en première scientifique au lycée General Leclerc) à l'effet de consolider notre constat. Nous avons obtenu les résultats suivants :

- A l'item « Définir : *réaction d'oxydoréduction, réaction d'oxydation et réaction de réduction* », 100% ont donné des définitions justes suivant le modèle électronique ;
- A l'item « Identifier (*encercler*) parmi les équations-bilans celle qui traduit une réaction d'oxydoréduction », 100% ont encerclé uniquement les équations-bilans qui s'interprètent facilement par le modèle électronique alors toutes les équations proposées traduisent chacune une réaction d'oxydoréduction ;
- A l'item « Définir nombre d'oxydation », 50% n'ont donné aucune réponse, 20% ont donné des réponses fausses et 30% ont donné des réponses attendues ;
- A l'item « calculer le nombre d'oxydation des éléments N, Cl, O, C et Mn respectivement dans les molécules ou ion suivants NH_3 , Cl_2 , $HClO_2$, CO_2 et MnO_4^- », 50% n'ont pas donné de réponse, 40% ont donné des réponses fausses et 10% ont donné des réponses un peu satisfaisantes ;
- A l'item « comment varie le nombre d'oxydation dans une réduction, dans une oxydation ? », 50% n'ont donné aucune réponse, 10% ont donné la réponse fausse et 40% ont donné la réponse juste ;
- A l'item « Quelles sont les difficultés que vous avez rencontrées lors de l'apprentissage sur l'oxydoréduction, sur le nombre d'oxydation », 50% d'élèves n'ont pas répondu, 50% ont donné des réponses telles que « calculer ou déterminer le nombre d'oxydation » et « équilibrer une équation-bilan à partir du nombre d'oxydation ».

Les réponses à ce questionnaire nous réconfortent dans notre constat selon lequel les élèves ont du mal à comprendre la notion d'oxydoréduction et particulièrement suivant le modèle de nombre d'oxydation.

1.2.2. Problème

Les résultats de la mini-enquête de confirmation du constat permettent d'admettre un problème. Le fait que l'équation $C + O_2 \rightarrow CO_2$ ne soit pas identifiée comme traduisant une réaction d'oxydoréduction laisse croire que les élèves ne comprennent pas le concept de nombre d'oxydation ou bien ne maîtrisent pas le modèle de nombre d'oxydation de l'oxydoréduction. Tel étant cas, il serait de même pour l'apprentissage d'oxydoréduction. Puisque, selon (ANDRIANTSILAVO Parsonnette, analyse de la transposition didactique du concept d'oxydoréduction dans les programmes malgaches et manuels scolaires, 2006), le modèle de nombre d'oxydation, parmi les quatre modèles (modèle de transfert d'électron ou modèle électronique, modèle de transfert d'oxygène, modèle de nombre d'oxydation et modèle de transfert de proton ou modèle d'hydrogène) expliquant le phénomène d'oxydoréduction, est central et est une théorie empirique qui puisse d'une manière générale expliquer le phénomène d'oxydoréduction. Dès lors que le concept central d'oxydoréduction fait l'objet d'une mécompréhension ou d'une méconnaissance, les objectifs d'apprentissage ou les compétences attendues dans ce module d'enseignement en classe de première scientifique ne seront pas atteintes ou acquises. C'est dans la problématique de mécompréhension ou de méconnaissance du concept de nombre d'oxydation que s'écrit notre étude. Les élèves en classes de première scientifique ont des difficultés à comprendre, à s'approprier ou à construire le concept de nombre d'oxydation ; ils ont du mal à pourvoir le définir et/ou le déterminer pour un élément dans un groupe atomique. Cette difficulté de construction existe alors qu'il est attendu de ces élèves de l'utiliser ce concept pour reconnaître une équation de bilan traduisant une réaction d'oxydoréduction et équilibrer une équation bilan.

1.3. Question de recherche

Le problème identifié dans cette étude et qui rentre dans l'activité d'enseignement/apprentissage de l'oxydoréduction et ses concepts associés, n'est pas propre d'une époque ou d'un pays à lire les travaux antérieurs : (Mohamed SOUDANI D. C.-H., Difficultés d'apprentissage du concept d'oxydoréduction, 1996) , (ANDRIANTSILAVO Parsonnette, analyse de la transposition didactique du concept d'oxydoréduction dans les programmes malgaches et manuels scolaires, 2006), etc. « Aussi bien à l'étranger qu'à Madagascar, le concept d'oxydoréduction présente des difficultés dans son enseignement et son apprentissage. Il fait partie des concepts les plus difficiles à assimiler par les élèves. »

(ANDRIANTSILAVO Parsonnette, Elaboration d'une ressource numérique pour la modélisation et la conception de l'oxydoréduction, 2015). « Une origine de ces difficultés semble alors résider dans le choix du contenu et de l'approche utilisés » (Mohamed SOUDANI D. C., 1998).

Dans une tentative de remédiation à cette difficulté, ANDRIANTSILAVO Parsonnette, entre 27 avril 2013 et 22 mai 2013, a fait des expérimentations auprès de 232 apprenants des établissements scolaires et université d'Antananarivo à l'effet de vérifier l'efficacité d'un logiciel d'enseignement /apprentissage qu'elle a élaboré pour permettre aux apprenants de faire des activités de modélisation pour construire les quatre modèles de processus de l'oxydoréduction : le transfert d'oxygène, le transfert d'hydrogène, le transfert d'électrons et la variation du nombre d'oxydoréduction. Elle a procédé par séquences (04 au total) auprès de cet échantillon constitué d'élèves de classe de première C et D, d'élèves de classe de terminale C et D et d'étudiants de troisième année de la filière physique-chimie. Si dans certains établissements, elle a enregistré des bons résultats, dans d'autres, elle a obtenu un résultat insatisfaisant qui « nécessite d'être analysé profondément pour en déceler les causes ». (ANDRIANTSILAVO Parsonnette, Elaboration d'une ressource numérique pour la modélisation et la conception de l'oxydoréduction, 2015).

Pour essayer de remédier à notre problème de recherche qui est la difficulté de construction du concept de nombre d'oxydation, il nous convient de trouver une approche qui tienne compte de la nature abstraite de ce concept qui se réfère à un non-objet. Cela implique donc, comme l'a suggéré (Mohamed SOUDANI D. C., 1998), d'identifier une approche et faire un choix de contenu d'enseignement/apprentissage adapté à ce concept. Parlant de l'approche, nous entendons ici un mode de transposition didactique qui sied à ce concept de nombre d'oxydation. Les modes de transposition didactique qui sont généralement utilisés dans les salles de classes sont : transposition classique, transposition informatique, la fiction, l'analogie, démarche d'investigation, récit, la situation-problème. Ceux généralement utilisés en chimie sont : transposition classique, transposition informatique, démarche d'investigation et situation-problème.

1.3.1. Transposition classique

La transposition classique est celle traditionnelle qui prévaut dans l'enseignement par l'approche par les objectifs et relève de la théorie behavioriste. Dans ce mode de transposition, l'apprenant est considéré comme une tête vide (tabula rasa) à remplir, il doit fournir des efforts pour accumuler les connaissances que l'enseignant transmet. Ce mode de transposition didactique cadre avec le style transmissif, passif, principalement orienté et contrôlé par l'enseignant. Les activités sont centrées sur des apprentissages manipulatoires ou conceptuels organisés en démarche stéréotypées et directives. Le but de l'apprenant c'est de se l'approprier en vue de la répliquer, le but de l'enseignant c'est de la transmettre. L'apprentissage consiste donc à assimiler cette réalité objective. La transposition classique relève de l'objectivisme. Bien qu'elle concoure à l'amélioration de comportement ou d'aptitude, elle ne favorise pas la construction des concepts scientifiques par les élèves.

1.3.2. La transposition didactique par démarche d'investigation

La démarche investigation (DI) naît dès le début des années 60 aux Etats-Unis sous le « inquiry ». C'est un processus au cours duquel les élèves, par l'expérimentation directe sur la matière et l'observation, par la consultation des livres, d'autres ressources, d'experts, et par le débat, élaborent leur propre compréhension d'idées scientifiques fondamentales, tout en déroulant sous la direction du professeur (NRC, 1996). (Boilevin J. M., 2018) Ce mode de transposition préconise des investigations ouvertes dans la quête des savoirs avec « formulation, reformulation d'une question, d'un problème, formulation d'hypothèses, planification d'expériences, amélioration d'un protocole, contrôle des facteurs, recueil, et traitement des données, interprétation des données usages de simulations, débats, etc. ». (Méheut M, 2006) Elle favorise l'autonomie des élèves et a un effet positif sur le comportement social et moral de ces derniers. D'après l'académie de Versailles (Grenoble, 2011), « la DI est une démarche utilisée en pédagogie qui s'apparente à celle utilisée par des chercheurs. Elle repose sur une méthode logique de recherche scientifique pour trouver une réponse à une question ou à un problème. Elle présente sept modalités dont :

- **Situation problème** : le professeur expose la situation qui amène la classe à se poser un problème qui doit être une « énigme ». Le but étant de motiver et intéresser les élèves.
- **Appropriation du problème** : les élèves réfléchissent pour formuler le problème à résoudre. Le professeur montre qu'il ne s'agit pas d'un problème « fermé »

appelant une réponse unique. Reformulation écrite de la « question », le professeur vérifie les représentations que se font les élèves.

- **Formulation d'hypothèses** : les élèves en équipe, proposent par écrite leurs hypothèses de résolution du problème. Cela se traduit par un déballage d'idées (créativité) et sur le choix d'une idée « réaliste ». Emploi de l'outil « brainstorming », recherche documentaire, tri d'informations, choix argumenté d'hypothèses, élaboration d'un protocole d'expérimentation...
- **Investigation ou résolution du problème** : les élèves de l'équipe élaborent un protocole pour vérifier leur(s) hypothèse(s). Certains mènent leur expérience et d'autres collectent les résultats. Description du mode opératoire, mise en œuvre du protocole, emploi de matériel et d'appareils de mesure, de ressources, relevé et traitement des résultats...
- **Echanges argumentés, restitution** : les élèves en équipe présentent et justifient leurs réponses, solutions ou résultats devant classe pour les confronter aux autres (argumentations). Les contenus (idée, vécu, résultats, conclusion), l'argumentation, la préparation de la présentation (écrit, image et parlé), la communication (règles), l'emploi d'un vidéoprojecteur ou d'un TNI sont appréciés par l'enseignant.
- **Structure de connaissances** : cette phase est animée par le professeur qui profite des exposés précédents pour formaliser et structurer le savoir. Il établit la fiche de synthèse des connaissances. Il collecte les vécus des équipes, fait émerger le savoir découvert, énonce de la « règle », élabore d'une fiche ...
- **Opérationnalisation des savoirs** : les connaissances des fiches de synthèses contenues dans les classeurs sont réutilisées par les élèves pour résoudre un autre problème. Ils doivent résoudre un autre problème en décontextualisant le premier apprentissage et puis s'adonner à la réalisation d'une tâche complexe... » (Grenoble, 2011)

La DI relève de la théorie socioconstructiviste et correspond à l'enseignement/apprentissage par les Approches par les Compétences. De ce fait, elle favorise l'esprit de créativité et de contrôle chez les apprenants et également les rend davantage acteurs de leurs apprentissages. Cependant, elle limite quelquefois les connaissances à la terminologie et au vocabulaire

technique. Elle ne permet pas de construire un concept surtout quand celui-ci relève de l'abstraction.

1.3.3. Transposition didactique par situation-problème

La transposition didactique par situation-problème découle de cette parole de Jean-Jacques Rousseau (1972) « on n'apprend bien que de ce qui répond aux questions que l'on se pose ». Elle est définie par la revue française de pédagogie comme situation d'apprentissage où une énigme proposée à l'élève ne peut être dénouée par celui-ci que s'il remanie une représentation précisément identifiée ou s'il acquiert une compétence qui lui fait défaut, c'est-à-dire qu'il surmonte un obstacle. Ce mode de transposition didactique, du fait de son apport à l'auto-construction du savoir par l'apprenant, est fondé sur la théorie constructiviste. La situation-problème est une **tâche complexe** (du fait qu'elle fait appel à plusieurs types de connaissances dont déclaratives, procédurales et conditionnelles, elle engage un conflit cognitif, elle est réaliste et réalisable l'élève, elle peut toucher à plusieurs objectifs du programme d'où sa structuration sur le plan didactique) et **signifiante** (elle a un sens pour l'élève parce qu'elle fait appel à quelque chose qu'il connaît, elle est en lien avec sa réalité, elle est concrète parce qu'elle a un but, sollicite une action réelle ou/et requiert l'utilisation des connaissances, des techniques, des stratégies ou des algorithmes). (Philippe Meirieu, 2019). Elle est marquée par la dévolution que fait l'enseignant à l'élève (cette situation didactique permet donc à l'élève de s'investir dans la recherche de la solution au problème qu'il a préalablement identifié) et par laquelle celui-ci parvient à la construction d'un « savoir » ou plutôt une idée ou bien une proposition de solutions au problème. À la suite, l'enseignant qui a démissionné de son rôle (ou plutôt transféré son rôle à l'élève) lors de la dévolution restore son contrat didactique par l'institutionnalisation (il intervient donc pour valider les propositions de l'élève afin de transformer leurs connaissances construites en savoirs partageables et acceptables socialement).

La transposition didactique par situation problème est favorable pour la construction d'un savoir spécifique et l'acquisition d'une compétence. Elle place l'élève au centre de l'activité d'enseignement et d'apprentissage. Mais elle s'emploie difficilement pour la construction d'un savoir qui relève de l'abstraction. Elle est donc de plus en plus limitée quand l'acquisition de compétence attendue nécessite la construction des concepts abstraits. Dans cette transposition, l'élève s'appuie sur les informations factuelles et concrètes (ses connaissances) et des objets concrets pour parvenir à un certain nombre de solutions.

1.3.4. Transposition informatique

La transposition informatique est un mode de transposition didactique interne réalisée par l'usage d'un outil informatique. Ces multiples appellations sont : expérimentation virtuelle selon Jean-François Colonna, simulation informatique, simulation numérique. « Elle s'utilise selon une démarche scientifique (prédictions, manipulations, observations, interprétations, résultats) ». L'approche pédagogique favorable à l'apprentissage des sciences avec les simulations informatiques est celle référée à l'approche P-O-E (Prédictions-Observation-Explication) (Rutten et al. 2015 ; Chen et al. 2013). Cette approche consiste, par un jeu de questions-réponses, à faire prédire aux élèves le comportement du phénomène lié au concept étudié au cas où des paramètres étaient modifiés, à leur faire observer le résultat de l'expérimentation par rapport aux hypothèses ou prédictions émises, et à leur faire expliquer ces résultats. (Ahassanne, 2020) L'exploitation des simulations informatique ou numérique est catégorisée par niveau suivant l'intention pédagogique de l'enseignant. Chaque niveau mis en évidence le degré d'implication ou de participation de l'élève au processus d'enseignement-apprentissage. (Roméo, 2015) a répertorié et classé ses niveaux par ordre de complexité croissante ainsi qu'il suit :

Niveau 1 : Consommation passive

Dans ce type d'usage. L'apprenant est placé dans un environnement d'apprentissage qui lui permet d'accéder à un contenu ou application technologique, et son activité dans cet environnement se caractérise par l'écoute ou la lecture des contenus sans pouvoir réaliser des interactions. Ce niveau d'usage couvre les situations pédagogiques par lesquelles, l'enseignant utilise le vidéoprojecteur ou le TBI pour faire la projection d'une capsule vidéo en classe, et les situations d'apprentissage basées sur la lecture d'articles ou consultation de vidéos par l'apprenante.

Niveau 2 : Consommation active

Dans le niveau 2, l'apprenant peut réaliser des interactions avec le contenu ou l'application, et ces interactions peuvent présenter différents niveaux de complexité. Nous avons dans cette catégorie des usages des outils tels que les livres interactifs, les leçons interactives, et les plateformes d'apprentissage.

Niveau 3 : Création de contenu

Le niveau 3 couvre les situations d'apprentissages par lesquelles, l'apprenant « réalise une production, exécute sa partie lors d'une activité coopérative ou modélise des connaissances à l'aide d'outils numériques dans un processus créatif individuel » (Romeo, 2015). Les activités concernées par ce type d'usage sont variées, nous pouvons citer, l'utilisation d'un outil de traitement de texte, l'utilisation d'un outil de création d'image, la réalisation d'une carte conceptuelle, la production d'un document multimédia, la fouille sur le Web ou sur les livres numériques, la collecte des données sur le terrain, et la programmation créative.

Niveau 4 : Cocréation de contenu

Ce type d'usage se caractérise par le fait que l'apprenant « réalise une production en collaboration ou collabore avec des pairs dans la modélisation de connaissances à l'aide d'outils numériques dans un processus créatif collaboratif » (Romeo, 2015). Le niveau 4 vise le travail en équipe de réalisation de production, avec l'apport des outils technologiques.

Niveau 5 : Cocréation participative de connaissances

D'après (Romeo, 2015), « la cocréation participative de connaissances est orientée vers la compréhension ou la résolution de problèmes partagés par la classe conçue comme une communauté d'apprentissage ». Les activités d'apprentissage concernées par ce type d'usage, sont celles qui sont en rapport avec l'investigation collective, par le canal des outils de création collaborative de connaissances tels que le forum, la visioconférence, ou les réseaux sociaux. (Mboulou, 2019, pp. 48-49)

La simulation numérique est une transposition didactique qui met mieux en relation les deux mondes (monde des objets et monde de phénomènes). « La simulation apparaît comme un plan intermédiaire entre le monde matériel et le monde des théories et modèles. En effet, cet emplacement permet de lever l'ambiguïté entre réel-virtuel. » (Jemaa, 2017, p. 131)

La nature abstraite du concept de nombre d'oxydation nous amène à faire appel à la théorie de deux mondes (le monde perceptible et le monde du reconstruit) dans le but de trouver une méthode qui puisse permettre à l'apprenant de transiter entre ces derniers (les deux mondes). Le monde perceptible renvoie aux événements que l'on peut percevoir à l'exemple de

combustion du soufre dans l'air. On perçoit la fumée blanche (SO_2) qui se dégage et se rend compte de l'effectivité de la combustion. Le monde de reconstruit est un phénomène logique non perceptible et relevant de l'abstraction ou de la pure imagination. Selon (ANDRIANTSILAVO Parsonnette, Elaboration d'une ressource numérique pour ma modélisation et la conception de l'oxydoréduction, 2015), La variation de nombre d'oxydation, d'oxydation ou de réduction ne sont pas perceptibles.

Le mode de transposition didactique qui convient donc à la construction de ce concept de nombre d'oxydation est la simulation informatique ou simulation numérique. Elle va permettre de représenter concrètement le concept abstrait et permettre la construction du concept de nombre d'oxydation par les apprenants. Ce choix est fondé sur, non seulement la particularité de ce mode de transposition didactique à mettre en relation les deux mondes (mondes de matériels et mondes des phénomènes) mais aussi sur la position des chercheurs vis-à-vis de ce dernier quand ils disent : « l'utilisation des simulations informatiques favorise l'apprentissage des concepts de physique ». D'ailleurs, « les simulations informatiques améliorent la compréhension des concepts (Droui, & El Hajjami, 2014 ; Kollöffel & Jong, 2013 ; Gratch et al, 2007), et le processus de conceptualisation, en permettant aux élèves de faire des mises en relation constantes entre les concepts étudiés et les objets et évènements du monde matériel (Buty, 2003, 2000). Elles favoriseraient aussi le processus de modélisation du concept (Beaufils & Richoux, 2003) » (Ahassanne, 2020). De plus, elle s'inscrit dans le contexte d'enseignement/apprentissage par les TIC qui est instauré au Cameroun depuis 1998 par la loi n°98/004 du 4 avril 1998 d'orientation de l'éducation au Cameroun, qui stipule dans l'article 25 que « l'enseignement dans les établissements scolaires prend en compte l'évolution des sciences et des technologies et, dans ses contenus et ses méthodes, est adapté aux évolutions économiques, scientifiques, technologiques, sociales et culturelles du pays et de l'environnement international ». Cette loi qui instaure la TIC dans le système éducatif camerounais était mise en application par l'inauguration par le Président de la République en 2001 du premier centre multimédia au lycée général Leclerc, la signature du décret présidentiel No 2002/004 du 04 janvier 2002 et l'arrêté no 65C/88/MINEDUC/CAB du 18 février 2001 du ministre de l'Éducation. (Kenne, 2009)

« L'intégration efficace des outils numérique dans l'éducation, est, perçu par François Mangenot (2000), comme étant la mise avec efficacité des outils numériques, au service de l'apprentissage. Dans un rapport Canadien publié en 1996, Bracewell & alii (1996)

affirment que les TIC peuvent servir aux enseignants soit à faire mieux ce qu'ils font déjà, soit à faire des choses différentes. » (Mboulou, 2019, p. 43)

En salle de classe, le savoir est transmis ou plutôt est construit à partir d'une transposition d'un contenu. Ce contenu est d'autant plus important que la transposition didactique. Soudani (1998) prétend que l'apprentissage d'un savoir dépend de la transposition didactique mise en jeu et du contenu d'enseignement élaboré pour la circonstance. Parlant ainsi du contenu d'enseignement, le nombre d'oxydation est enseigné davantage suivant sa dimension logicomathématique et également à travers le concept d'électronégativité en mettant en relief les répartitions électroniques entre les éléments chimiques qui constituent un groupe atomique donné. Dans le cadre de notre étude, nous choisissons faire construire le concept de nombre d'oxydation à travers le concept d'électronégativité en mettant en relief les répartitions électronique entre les atomes d'un groupe atomique.

Comme pour résumer, dans le cadre de cette étude, nous optons pour la simulation numérique comme mode de transposition didactique et la répartition électronique basée sur l'électronégativité des atomes comme contenu d'enseignement-apprentissage. L'intérêt de cette étude réside alors dans la réponse à la question cherche suivante : quelle est la pertinence de la simulation numérique de la répartition électronique au sein d'un groupe atomique dans la construction du concept de nombre d'oxydation par les élèves de classe de première scientifique au Cameroun ?

1.4. Hypothèse de recherche

De ce qui précède, nous nous permettons de supposer que la simulation numérique de la répartition électronique au sein d'un groupe atomique favorise la construction du concept de nombre d'oxydation par les élèves de classe de première scientifique de l'enseignement secondaire au Cameroun.

1.5. Objectif de recherche

Cette étude vise à évaluer, au moyen d'une séquence d'enseignement-apprentissage, la pertinence de la simulation numérique dans la construction du concept de nombre d'oxydation par les élèves de la classe de première scientifique au Cameroun.

1.6. Intérêt de la recherche

La problématique d'un travail de recherche porte sur un problème ou un ensemble de problèmes d'ordre scientifique ou/et social pour lequel il faut trouver une solution. Ahasanne (2020, p.84) rapporte que selon Legendre (1993, p. 1017) cité par Karsenti, le but d'une problématique est de « circonscrire un problème ou un réseau de problèmes à résoudre dans un domaine particulier et de démontrer la pertinence ainsi que les bénéfices prévisibles par la recherche entreprise ». Notre recherche possède un intérêt scientifique et celui social qui font sa pertinence. Lorsque la recherche est dans le domaine de l'enseignement-apprentissage, sa pertinence scientifique est attendue sur quatre plans : didactique, pédagogique, épistémologique et technologique.

1.6.1. Intérêt scientifique

Sur le plan didactique, notre étude renseigne sur l'apport de l'utilisation de la simulation numérique dans la construction du concept de nombre d'oxydation et également l'importance de la répartition électronique entre les atomes d'un groupe atomique.

Sur le plan pédagogique, l'utilisation de la simulation numérique pour l'enseignement-apprentissage du concept de nombre d'oxydation et même d'autres concepts de chimie facilite la tâche des enseignants et leur permet également de contourner certaines difficultés liées à la communication.

Sur le plan épistémologique, notre travail de recherche, surtout sur la thématique traitée, constitue un plus dans la littérature scientifique.

Sur plan technologique, notre étude vient prouver davantage l'importance de l'utilisation des outils technologiques dans l'enseignement-apprentissage et constitue un témoignage favorable pour les Technologies de l'information et de la communication pour l'éducation (TICE).

1.6.2. Intérêt social

Notre étude constitue un instrument de renforcement de capacité des enseignants sur l'utilisation de la simulation numérique dans l'enseignement secondaire. Elle est donc utile pour le ministère de l'enseignement supérieur qui doit rythmer la formation des enseignants au contexte de la digitalisation de l'enseignement (dans les écoles normales supérieures) et le ministère de l'enseignement secondaire pour sa politique de digitalisation de l'enseignement dans les établissements secondaires. La simulation numérique est une transposition appropriée

pour les classes à effectif pléthorique et aussi pour l'enseignement-apprentissage (surtout en période de crise).

1.7. Délimitation de la recherche

Notre recherche est, sur le plan opérationnel, délimitée dans l'espace (plan géographique), dans le temps (la durée) et autour d'un réseau conceptuel.

1.7.1. Délimitation géographique

Les données de notre étude sont collectées au lycée de Ngoa-Ekellé. Cet établissement d'enseignement secondaire général est situé dans la région du centre du Cameroun, dans le département de Mfoundi et dans l'arrondissement de Yaoundé III. Aucun critère de recherche n'a imposé de porter le choix sur cet établissement. Ce choix est fait fortuitement. Les données de notre recherche peuvent être recueillies dans n'importe quel établissement d'enseignement secondaire général du Cameroun ; ceci du fait que notre population cible suit les mêmes contenus d'enseignement-apprentissage suivant les conditions pédagogiques de l'APC et ceci dans les mêmes conditions de temps (durée).

1.7.2. Délimitation temporelle

Cette étude de recherche s'est entendue sur une durée de six mois. Elle est subdivisée en six phases qui sont :

- **Première phase** : la formulation de la problématique, la revue de littérature sur certains concepts de l'étude, formulation de l'hypothèse ;
- **Deuxième phase** : Elaboration, validation et l'administration du questionnaire pour recueillir les conceptions des apprenants sur le concept de nombre d'oxydation principalement ;
- **Troisième phase** : Construction d'outil de l'enseignement-apprentissage et le contenu et leur validation ;
- **Quatrième phase** : Séance d'enseignement-apprentissage avec une partie d'échantillon de l'étude ;
- **Cinquième phase** : administration d'un questionnaire aux apprenants ayant participé à la séance d'enseignement-apprentissage ;
- **Sixième phase** : Traitement et analyse des données.

1.7.3. Délimitation conceptuelle

Notre étude tourne autour de quatre concepts principaux dont l'enseignement-apprentissage, la simulation numérique, le nombre d'oxydation et la répartition électronique. Elle met en relation ces concepts au profit des apprenants de classe de la première scientifique de l'enseignement général au Cameroun et aussi les enseignants à ce qui concerne la construction du concept de nombre d'oxydation.

CHAPITRE 2 : ETUDE CONCEPTUELLE

Toute recherche scientifique se doit d'être située dans un cadre théorique. Ce dernier vise à situer la recherche dans un cadre plus fondamental et plus scientifique que la problématique en présentant les théories explicatives de la recherche, en donnant un sens terminologique aux principaux mots clés afin d'éviter les compréhensions parasites pouvant biaiser la conformité de recherche.

Dans ce chapitre, on retrouve dans l'ordre respectif l'étude historique et épistémologique du concept de nombre d'oxydation et celui de la simulation numérique, la revue de la littérature des termes clés de notre étude, l'analyse conceptuelle, la définition des concepts et les théories explicatives de l'étude.

2.1. Etude historique et épistémologique du concept de nombre d'oxydation et de celle de la simulation numérique

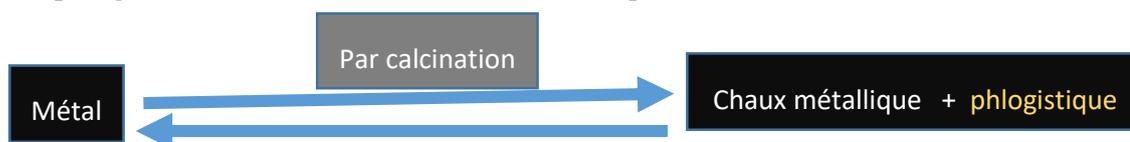
Pour prétendre connaître un concept, il est nécessaire de consulter l'origine de ce concept et de remonter à travers les différentes mutations qu'a subies ce dernier dans le temps jusqu'à nos jours. Ceci, dans le but de mesurer en général l'écart entre la chimie du chimiste, la chimie de l'enseignant de chimie et la chimie de l'élève. Cet écart qui est sans doute une source de difficultés peut être nous permettre de comprendre et expliquer les difficultés que rencontrent les apprenants et également, il peut guider lors de la mise sur pied d'une approche pédagogicodidactique et de l'élaboration d'un contenu efficace pour l'apprentissage et appropriée pour le concept étudié. À cet effet, Azcona, Furió-Mas et Guisasola (2002) cités par (Halloun, Novembre 2019) notent que la connaissance de l'évolution socio-historique d'un concept améliore son enseignement et permet d'éviter que les épistémologiques de l'enseignant entraînent des obstacles didactiques chez les élèves. C'est comme le disait déjà (Mohamed SOUDANI D. C., 1998, pp. 1870-1871) pour les concepts de nombre d'oxydation « Nous pensons que l'histoire du concept oxydoréduction peut fournir des éléments pour concevoir une autre approche de l'enseignement qui permette aux élèves de développer des représentations au niveau expérimental et phénoménologique et de les mettre en correspondance avec des représentations au niveau symbolique, c'est-à-dire au niveau du modèle »

Dans notre étude, nous faisons à la fois une étude historique et épistémologique du concept de nombre d'oxydation puis de la simulation numérique.

2.1.1. Du concept de nombre d'oxydation

Le concept de nombre d'oxydation né avec le concept d'oxydation à la fin du VIII^{ème} siècle, siècle de lumière. Jusqu'au VII^{ème} siècle, la chimie ressemblait encore beaucoup plus à l'alchimie avec sa théorie selon laquelle la matière est constituée de quatre éléments dont l'eau, la terre, le feu et l'air. À cette époque, la combustion était expliquée par une seule théorie : la théorie phlogistique de Georg Ersatz Stahl (1660-1734) (Ernaux, 1998). D'après cette théorie, tout composé est constitué d'une substance légère qui se volatilise lors d'une combustion sous forme de la flamme. Cette substance est appelée « phlogistique » du grec « phlogiston » (inflammable), terme utilisé pour la première fois par Aristote pour désigner une combustion accompagnée d'une flamme (Dumon, 2019).

La purification des métaux se faisait par la calcination de ce dernier. Par calcination, on entend une transformation alchimique que Jean Béguin (1550-1620) définit en 1615 comme dans ce qui est considéré comme le premier livre de chimie comme suit: « calcination: vient du nom chaud d'autant que la chose calcinée est privée de son humidité superflue ou élémentaire et réduite en poudre très subtile telle la chaux » (Dumon, 2019). Stahl, interprète l'opération de calcination comme la perte du phlogistique quand il soutient que : « un composé qui brule perd quelque chose de léger et volatil matérialisée par la flamme. Par exemple, lorsqu'un métal brule, il perd du phlogistique et donne une terre ou un chaud métallique ». Par la suite, il soutient que cette opération de calcination des métaux s'accompagne par une perte de poids et explique cette perte de poids par la sortie du phlogistique. Cette théorie phlogistique va donc permettre de redéfinir la calcination comme, dans le Dictionnaire de chimie de Pierre Joseph Macquer (1718-1784: « Calciner un corps, c'est, à proprement parler, l'exposer à l'action du feu, pour lui causer quelque altération ou changements [...] Il suit de-là qu'on calcine les corps, ou pour leur enlever quelque principe volatil, ou pour détruire leur principe inflammable » (Dumon, 2019). Le phlogisticien schématisa donc la calcination par :



Cette interprétation va connaître plusieurs contradictions parmi lesquelles celle de Jean Rey (1583-1645) en 1630 puis celle de Robert Boyle (1627-1691) en 1651 et d'autres chimistes. Ils constatent que la calcination du métal en chaux s'accompagne plutôt d'une augmentation de poids. La persistance des contradictions a amené Stahl le phlogisticien à reformuler sa position sur la perte de poids du métal lors de la calcination. À cet effet, Stahl soutient pour soutenir sa théorie phlogistique par rapport à la perte de poids que : « le phlogistique a une pesanteur différente de celle de la matière où il entre, et que bien pesant, il allège le métal, un peu comme le bouchon du pêcheur allège le plomb de la ligne ». Cette thèse a pu convaincre plusieurs chercheurs en chimie de l'époque au rang desquels Louis-Bernard Guston de Morveau (1737-1816) qui soutient cette théorie de Stahl à l'augmentation de poids des métaux lors de la calcination en écrivant : « c'est l'absence du phlogistique qui est la cause de l'augmentation de poids. ». Cependant, les faits contredisant la théorie phlogistique s'accumulaient davantage. En 1774, Pierre Bayen (1725-1798) fait paraître ses Essais d'expériences chimiques faites sur différents précipités du mercure dans le but de découvrir leur nature. Il y montre que les chaux de mercure peuvent être réduites sans addition de charbon, que le gaz qui se dégage pendant leur réduction est plus dense que l'air et que la calcination des métaux enlevait de l'air à l'atmosphère. Autant de résultats qui l'amènent à contester la théorie du phlogistique. Rappelons que Diderot et Alembert (1751) ont défini la calcination comme « application d'un feu ouvert à des matières solides et fixes, disposées de manière qu'elles présentent au feu et à l'air le plus de surface qu'il est possible. » Au cours de la même année, Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) publie un Mémoire sur la calcination de l'étain dans les vaisseaux fermés et sur la cause de l'augmentation de poids qu'acquiert ce métal pendant cette opération, dans lequel il montre que l'augmentation de poids est due à la combinaison d'une partie de l'air avec le métal pour former une chaux, et donc que l'air n'est pas un élément mais doit être un mélange. C'est un mélange constitué d'air vital ou déphlogistiqué, qui s'unit au métal, et d'un résidu ou « mofette » qui n'entretient ni la combustion, ni la respiration des animaux (qui sera dénommé plus tard azote). Lavoisier nomme cet air vital « principe oxygène » ou oxygène, car c'est lui qui conduit à la formation d'acides lors de la combustion du charbon, du soufre, du phosphore, etc. (Dumon, 2019). Des lors, la théorie du phlogistique a été déconstruite au profit de celle de l'oxygène ou du « principe oxygène ». C'est alors que la relation phlogisticienne a été transformée ainsi :

Corps combustibles (simple) + Oxygène → oxydes ou acides (composé)

Lavoisier donne le nom d'oxygénation à cette combinaison de l'oxygène de l'air lors de la combustion. Les produits de cette combustion sont des oxydes de métal ou des acides et de ce fait, elle a été appelée oxydation.

Après cette thèse que soutient Lavoisier, des nombreux chercheurs chimistes ont abandonné la théorie phlogistique. Guston de Morveau se rallie à Lavoisier et définit « oxydation » dans son encyclopédie méthodique de 1808 comme : « c'est le nom qu'on a donné à une opération de l'art ou à un phénomène de la nature par lesquels un corps combustible quelconque qui brule rapidement ou lentement, se combine à l'oxygène de manière à former un oxyde, soit qu'il doive rester à cet état d'oxyde, soit qu'il puisse, en allant au-delà par l'addition d'une nouvelle proportion d'oxygène, arrivé à l'état d'acide. Dans le premier cas, c'est en quelque sorte un effet absolu, quoique l'oxydation puisse souvent elle-même être poussée plus loin, et présenter plusieurs degrés ou graduation ; dans le second cas, c'est une oxydation provisoire, une oxydation transitoire en la comparant à l'état définitif qui jusqu'à l'acidification. ». Cette définition de Guston laisse comprendre que l'oxydation d'un métal se peut se faire à plusieurs degrés différents. Et donc à chaque degré ou état correspond ce que Michael Faraday a appelé ¹ pour la première fois « nombre d'oxydation » qui le caractérise. A l'exemple des oxydes tels : Cu_2O (oxyde cuivreux), CuO (oxyde cuivrique), MnO (manganosite), MnO_2 dioxyde de manganèse), Mn_3O_4 (trioxyde de manganèse), etc.

Par convention, le nombre d'oxydation est désigné par un chiffre. C'est un nombre relatif qui est accepté chimiquement comme nombre d'électron qu'un atome reçoit à l'effet de son électronégativité lors d'une rupture électrolytique des liaisons entre atomes d'un groupe atomique. Dans la même acceptation, il se détermine pour un élément chimique en faisant la différence entre le nombre d'électrons de valence de l'élément concerné à l'état fondamental et le nombre d'électrons de valence de ce dernier à la suite de cette nouvelle répartition électronique entre les différents atomes du groupe atomique. Par contre dans les salles de classe, l'enseignant, tel comme trouver dans les livres au programme que le nombre d'oxydation est un nombre en chiffre romain qui caractérise le degré d'oxydation d'un élément. Pour le détermine dans les salles de classe, il fait plutôt appel à l'algorithme qui relève de la pure logicomathématique.

¹ Michael Faraday est le physicien-chimiste britannique à avoir prononcé pour la toute première fois l'expression « nombre d'oxydation » au cours ses travaux de recherches sur des gaz fluidifiants à l'exemple du chlore. On lui en attribue l'invention. (boowiki)

Ces différentes acceptations et de détermination du nombre d'oxydation met en évidence l'écart de conceptualisation entre le chimiste et l'enseignant de chimie ainsi que son élève. Il en ressort que l'apprenant va davantage se pencher sur les données conventionnelles sur le concept de nombre d'oxydation à l'abandon du vrai sens du concept. Cela, crée ainsi les difficultés dans l'enseignement-apprentissage. Pour y remédier alors il faut une approche pédagogicodidactique et un contenu d'enseignement-apprentissage qui se rapproche beaucoup plus du vrai sens du concept de nombre d'oxydation.

Aujourd'hui, l'état d'oxydation et les degrés d'oxydation sont généralement utilisés pour désigner le concept de nombre d'oxydation, alors que ce n'est pas le cas chez le chimiste.

2.1.2. De la simulation numérique

La simulation vient du verbe d'action « simuler » qui, étymologiquement vient de du latin « similo, similis » qui veut dire « semblable, ressemblance, pareil ». Simuler, c'est faire paraître réelle une chose qui n'est pas. (Dictionnaire Le Robert, 1951) La simulation numérique ou informatique est une simulation réalisée par l'usage de l'ordinateur. Elle est apparue à l'époque de la première guerre mondiale dans le contexte du projet Manhattan² dans le but de modéliser le processus de détonation nucléaire. La première simulation numérique fut celle de l'expérience de Fermi-Pasta-Ulam³ en 1953. (Wikipedia) Elle a évolué au cours du temps et dans plusieurs domaines (ingénierie, industrie, éducation, ...) avec le développement de l'informatique.

Pendant longtemps, le terme « simulation » n'a servi à désigner qu'un type particulier de modèle : un modèle à la fois physique et phénoménologique. Une simulation a donc d'abord été conçue comme un modèle non symbolique, c'est-à-dire un modèle présentant une réalisation physique d'une part, dont le principe de fonctionnement, d'autre part, ne vise pas à imiter celui de l'objet modélisé, mais dont les performances observables (la phénoménologie) visent, en revanche, à imiter les performances observables de l'objet modélisé.

² Projet Manhattan est le nom de code de l'opération militaire américaine (projet de recherche) qui conduisit à la création des premières bombes atomiques de l'histoire.

³ Cette expérience étudiait la répartition à long terme de l'énergie d'un système dynamique unidimensionnel de 64 masses couplées entre elles.

Par exemple, on peut simuler une explosion volcanique avec des réactions chimiques, comme le proposent certains ateliers pédagogiques pour enfants alors même qu'une telle explosion dans la réalité n'est pas le résultat de réactions chimiques à proprement parler.

Ainsi parle-t-on encore en ce sens de simulateur de vol, de simulateur de conduite. Un jeu de rôle pour l'entraînement au management, un exercice d'alerte et d'évacuation sont également des simulations au sens où les motivations profondes des acteurs ne peuvent être les mêmes que celles qui animent les managers décisionnaires réellement en exercice ou les victimes réelles d'un incendie, d'un naufrage ou d'une agression chimique.

En première approximation donc, on peut dire qu'on modélise quand on ne sait pas théoriser et qu'on simule quand on ne sait pas modéliser, c'est-à-dire quand on n'a pas de modèle explicatif ! Si bien que la peur de voir s'éloigner le réel d'un degré supplémentaire semble justifiée : la simulation serait là pour donner le change lorsqu'on ne s'inquiète même plus d'expliquer, ne serait-ce que partiellement.

En même temps, et de manière apparemment paradoxale, la simulation se voit critiquée pour une raison inverse : on constate qu'elle possède un « faible degré d'autonomie par rapport au réel » car, comme le dit Etienne Guyon, « elle doit coller le plus possible à la réalité » au contraire de la « modélisation qui possède une beaucoup plus grande autonomie par rapport au réel qui l'a inspiré ».

L'apparent paradoxe peut être levé si l'on comprend que, dans un cas, on reproche à la simulation d'oublier la réalité de l'explication et que, dans l'autre cas, on lui reproche d'être trop aliénée au réel immédiatement observable et mesurable. Il ne s'agit donc pas du même réel : d'un côté, c'est le réel au sens de l'explication vraie, du mécanisme caché mais supposé bien réellement à l'œuvre derrière les apparences et les phénomènes mesurables (phénomènes auxquels on confère implicitement un moindre degré de réalité), de l'autre, c'est le réel au sens du donné immédiat, observable mais non conceptualisé ni même rapporté à ses causes. Je ferai observer ici que, dans le reproche de trop coller au réel observable, il y a le recours à une vieille hypothèse d'origine aristotélicienne qui voudrait que la cause soit plus réelle que ce qu'elle cause, car plus éminente et virtuellement capable de plus. Les préférences pour la modélisation

mathématique et son caractère de virtualité par rapport à la simulation informatique prennent souvent racine dans cette conception épistémologique.

On doit cependant objecter à l'impression première que la simulation nous donne l'idée selon laquelle elle serait employée quand la modélisation n'est plus possible, que les simulations dites « numériques » n'apparaissent justement pas quand il n'y a pas de modèle.

Au contraire : elles sont bien souvent des calculs de modèles. Cependant, elles apparaissent quand il n'y a pas de calcul formel de ce modèle. Elles calculent des modèles mathématiques non traitables analytiquement. C'est-à-dire qu'il n'existe pas de méthode plus courte pour évaluer leur résultat que de simuler pas à pas le comportement du modèle à échelle infinitésimale. En ce sens, elles sont des modèles phénoménologiques du comportement microscopique du modèle, même si elles n'en sont plus nécessairement des modèles physiques. Leur substrat est symbolique, mais elles modélisent bien des performances, et seulement des performances, à cette échelle microscopique.

De là peut s'expliquer le rapport - qui peut paraître sinon énigmatique au profane - entre le calcul de modèle et le retour à l'iconicité, la visualisation et la figuration dans les simulations informatiques contemporaines, sans que ce soit pour autant un retour à une matérialité puisque la simulation sur ordinateur n'est plus qu'une manipulation de symboles et non un modèle physique à proprement parler : calculer consiste dans ce cas à faire figurer des éléments de manière quasi-réaliste, éléments dont les comportements cumulés seuls importeront pour le résultat global.

Notons qu'on n'a pas attendu les ordinateurs pour faire calculer des simulateurs. Ainsi on peut créer des simulateurs électriques d'oscillateurs mécaniques : là non plus, le substrat en jeu n'est pas le même ; mais les lois phénoménologiques sont les mêmes et les performances mesurables sont donc les mêmes. Avant l'essor des ordinateurs ou calculateurs numériques programmables, les calculateurs analogiques fonctionnaient comme des simulateurs analogiques de ce type : c'était déjà des simulateurs pour le calcul, mais des simulateurs physiques, non symboliques.

Comme l'a montré Peter Galison (1997), les premières simulations numériques (donc symboliques) massivement assistées par ordinateur ont été effectuées en physique nucléaire, à Los Alamos. Elles imitaient, dans les cases mémoires de l'ordinateur, le comportement individuel et aléatoire des neutrons et rendaient solubles des équations autrement non traitables. (Varenne, Epistémologie des modèles et des simulations : tour d'horizon et tendances, 2008, pp. 20-23)

2.2. La revue de la littérature

Comme dans toute étude scientifique, il est pertinent de consulter des travaux antérieurs ; nous passons à la revue de littérature les termes tels : enseignement, apprentissage, nombre d'oxydation, la simulation numérique. Cette revue a pour but de connaître les dires des pairs à ce qui concerne les concepts clés de notre étude, ceci à l'effet de donner une orientation terminologique à ces concepts dans le cadre de notre travail.

2.2.1. Enseignement-Apprentissage

L'acte d'enseignement et d'apprentissage est défini suivant plusieurs courants de recherche. Plus encore, la majorité de théoriciens en éducation s'accordent pour regrouper les modèles de l'enseignement et de l'apprentissage selon quatre courants : le courant béhavioriste, le courant cognitiviste, le courant constructiviste et le courant socioconstructiviste. (Anastassis Kozanitis, 2005)

2.2.1.a. Enseignement

Le terme « enseignement » vient du mot latin « *insignis* » qui veut dire « *remarquable, marquer d'un signe, distinguer* ». C'est une pratique d'éducation visant à développer les connaissances d'un élève par le biais de communication verbale et écrite. (Wikipédia, s.d.). L'enseignement est l'action d'« enseigner » qui veut dire transmettre, inculquer et/ou faire construire

Selon Marguerite Albert, l'enseignement couvre deux champs de pratiques :

- Celui de la gestion de l'information, de la structuration du savoir par l'enseignant et de leur appropriation par l'élève ; c'est le domaine de la didactique
- Celui de traitement et de la transformation de l'information en savoir par la pratique relationnelle et l'action de l'enseignant en classe, par l'organisation de situations pédagogiques pour l'apprenant, c'est le domaine de la pédagogie.

Selon la philosophie de l'éducation, l'enseignement est l'acte impliquant une personne P qui possède un contenu C et qui a l'intention de communiquer ou transmettre C à une personne E, qui initialement n'a pas C, afin que P et E s'engagent dans une relation pour que E acquière C. (Fenstermacher, 1986). P indique à E son intention que E doit apprendre C. E, prêt à le faire comprend les intentions de P. et E, ayant quelques raisons de le faire, essaye de maîtriser C. (Fleming, 1980).

Selon l'étude d'enseignement, l'enseignement est toute forme d'influence interpersonnelle ayant pour but d'échanger les manières dont d'autres personnes peuvent ou pourront se comporter. (Gage N. L., 1963)

Selon la psychologie du développement, l'enseignement est une activité intentionnelle pour augmenter la connaissance (ou la compréhension) d'un autre, réduisant ainsi la différence entre l'enseignant et l'élève. (Ziv et Frye, 2004)

Selon le courant théorique béhavioriste, l'enseignement est l'action de stimuler, créer et renforcer des comportements observables appropriés.

Selon le courant cognitiviste, l'enseignement est l'action de présenter l'information de façon structurée, hiérarchique, déductive.

Selon le constructivisme, l'enseignement est l'action d'offrir des situations obstacles qui permettent l'élaboration de représentations adéquates du monde.

Selon le socioconstructivisme l'enseignement est l'action d'organiser des situations d'apprentissage propices au dialogue en vue de provoquer et de résoudre des conflits sociocognitifs.

2.2.1.b. Apprentissage

Le terme « apprentissage » dérive du mot « apprenti » qui désignait seulement « le fait d'apprendre un métier manuel ou technique. (Olivier Reboul, 2010). L'apprentissage est l'action d'apprendre et le terme « apprendre » vient du latin « appprehendéré » qui signifie « saisir » ou « prendre ». « Apprendre » c'est acquérir ou s'approprier les connaissances, il s'inscrit dans la logique individuelle et la logique interindividuelle. (Haution, 2021) L'apprentissage est un ensemble de mécanismes menant à l'acquisition de savoir-faire, de savoirs ou de connaissances. Selon la psychologie, l'apprentissage est la mise en relation entre

un événement provoqué par l'extérieur (stimulus) et une réaction adéquate du sujet, qui cause un changement de comportement qui est persistant, mesurable, spécifique ou permet à l'individu de formuler une nouvelle construction mentale ou réviser une construction mentale préalable. (wikipédia, s.d.) Selon Landsheere (1979), l'enseignement est un « processus d'effet plus ou moins durable par lequel des comportements nouveaux sont acquis ou des comportements déjà présents sont modifiés en interaction avec le milieu ou l'environnement ».

D'après le courant théorique behavioriste, l'apprentissage est l'acte d'associer, par conditionnement, une récompense à une réponse spécifique. C'est comme une modification durable du comportement résultant d'un entraînement particulier.

D'après le courant théorique cognitiviste, c'est l'action de traiter et emmagasiner de nouvelles informations de façon organisée.

D'après le constructivisme, c'est l'action de construire et organiser ses connaissances par son action propre. Apprendre, c'est construire du sens.

Et d'après le socioconstructivisme, l'apprentissage est l'action de co-construire ses connaissances en confrontant ses représentations à celles d'autrui. C'est la construction d'un savoir ; bien que personnelle, il s'effectue dans un cadre social. Les informations sont en lien avec le milieu social, le contexte culturel et proviennent à la fois de ce que l'on pense et de ce que les autres apportent comme interactions. (Anastassis Kozanitis, 2005)

Plusieurs chercheurs s'accordent à lier l'acte d'enseignement à l'acte d'apprentissage en utilisant le mot valise « enseignement-apprentissage ». C'est le cas de (Hauton, 2021) qui considère qu'apprendre, c'est informer ou être informé de quelque chose qu'on ignorait, ou que plus fondamentalement, c'est acquérir ou faire acquérir en l'étudiant une connaissance, une manière d'être, ou encore une compétence. Il apparaît deux traits principaux : le passage d'un état d'ignorance et un état de connaissance et la nécessité de présence de deux sujets dont l'un qui transmet et l'autre qui reçoit. De même, (Fenstermacher, 1986) et (Fleming, 1980) qui soutient que l'enseignement met en liaison une personne P qui transmet (enseigne) un contenu C qu'un élève E se l'approprié (apprend). L'enseignement et apprentissage sont donc complémentaires ; ce qui n'est pas partagé par Astolfi et Chevallard qui soutiennent plutôt que ces derniers (enseignement et apprentissage) sont deux processus distincts et repoussent l'idée de synchronisation surtout temporelle.

«En effet, le verbe « apprendre » s'apparente aux verbes « entreprendre » ou « appréhender » (Aumont, 1992), et « désigne ce dont on doit s'emparer pour se l'approprier, pour l'appriivoiser » (Astolfi J. P., 2014), alors que le verbe « enseigner » indique la création « des conditions matérielles, temporelles, cognitives, affectives, relationnelles, sociales pour permettre aux élèves d'apprendre ». (Bru, 2001). Selon (Chevallard Y. et Joshoua M., 1985-1991), l'enseignement et l'apprentissage ne se distinguent pas seulement par leur rapport à la durée mais aussi par le fait que le temps d'enseignement est consacré en grande partie à la préparation de la séance, alors que le temps d'apprentissage est caractérisé par des rétroactions continues de l'élève en situation.» (Halloun, Novembre 2019)

2.2.2. Nombre d'oxydation

Dans plusieurs documents scientifiques, les auteurs définissent différemment le concept de nombre d'oxydation. Nous relevons ici quelques-unes.

Le nombre d'oxydation est ce que les chimistes utilisent pour représenter le nombre d'électrons que possède en propre un atome au sein d'un composé. (Khan Academy, 2022) « C'est le nombre de charges électriques élémentaires réelles ou fictives que porte un atome au sein d'une espèce chimique (molécule, radical ou ion). Ce nombre, qui décrit l'état d'oxydation de l'atome, caractérise l'état électronique de l'élément chimique correspondant en considérant la charge réelle (dans le cas d'un ion monoatomique) ou fictive (si cet élément est combiné) » (wikipédia, 2023). « Le Nombre d'Oxydation (ou Degré d'Oxydation, voir Indice d'Oxydation) est la description de la charge d'un atome. En somme, un atome possède un nombre d'électron théorique, de manière à ce que la somme des charges positives (dans noyau atomique, protons) et des charges négatives (électrons en périphérie de l'atome) soit égale à zéro.» (Koala, 2019, p. 2) D'après (Alain Perche et al, 2002), « Le nombre d'oxydation d'un atome est la charge fictive portée par cet atome si les électrons de liaison étaient attribués aux éléments les plus électronégatifs. Elle est notée en chiffres romains. Le nombre d'oxydation de chaque atome est égal à la différence entre le nombre d'électrons de valence à l'état atomique fondamental et le nombre d'électrons qui lui a été attribué à la suite de cette nouvelle répartition ».

Pour déterminer le nombre d'oxydation d'un atome dans un groupe atomique, on privilège un certain nombre des règles usuelles. Ces règles se retrouvent dans plusieurs documents de chimie ou d'enseignement de chimie. Elles sont :

- Le nombre d'oxydation d'un élément dans un corps pur simple ou d'un atome isolé est nul.
- Le nombre d'oxydation d'un élément dans un ion monoatomique est égal au nombre de charge de cet ion.
- Dans une molécule, le nombre d'oxydation d'un élément est égal à la charge fictive que porte l'atome de cet élément. Dans HCl, n.o (H)= +I et n.o (Cl)= -I Dans H₂O, n.o (H)= +I et n.o (O)= -II.
- Dans un ion polyatomique, la somme des nombres d'oxydation de tous les éléments est égale à la charge de l'ion. Dans SO₄²⁻, n.o(S) + 4n.o(O)= -II; dans H₃O⁺, 3n.o (H) + n.o (O)= +I

D'autre méthode de détermination du nombre d'oxydation est telle que d'après (Alain Perche et al, 2002) :

- Premièrement, isoler les espèces chimiques covalentes. Par exemple le permanganate de potassium KMnO₄ sera traité comme deux ions (l'ion potassium K⁺ de n.o égal à +I et l'ion permanganate MnO₄⁻, espèce covalente) ;
- Deuxièmement, établir la structure de Lewis des espèces covalentes faisant apparaître tous les électrons de valence (doublets de liaisons et doublets libres).
- Troisièmement, Attribuer les électrons d'une liaison à l'atome le plus électronégatif. Quand les électronégativités de deux atomes liés sont identiques, les électrons sont partagés entre ces deux atomes à parts égales.
- Quatrièmement, le nombre d'oxydation de chaque atome est alors égal à la différence entre le nombre d'électrons de valence à l'état fondamental et le nombre d'électrons qui lui a été attribué à la suite de cette nouvelle répartition.

La connaissance de nombre d'oxydation permet autre entre autre d'identifier les réactions d'oxydoréduction, d'équilibrer les équations-bilans et de connaître les nombre d'électrons échangés au cours d'une réaction redox.

2.2.3. Simulation numérique

Plusieurs chercheurs ont défini la simulation ainsi que la simulation numérique ou informatique.

Selon Dubey (2001, p.3) cité par (Jemaa, 2017, p. 35) « la simulation est l'expérimentation sur un modèle, une procédure de recherche scientifique qui consiste à réaliser une reproduction artificielle du phénomène que l'on désire étudier, à observer le comportement de cette

reproduction lorsque l'on fait varier expérimentalement les actions que l'on peut exercer sur celle-ci, et à en induire ce qui se passerait dans la réalité sous l'influence d'actions analogues ». C'est un modèle simplifié du phénomène physique cible comme le prétend Ahassanne (2020).

Selon Depover, Karsenti et Komis (2007, p. 110) cité par (Ahassanne, 2020, p. 64) une simulation est « (...) une représentation ou un modèle d'un événement, d'un dispositif ou d'un phénomène construit pour présenter et faire comprendre comment un système fonctionne ».

« Une simulation informatique est une reproduction d'un modèle interactif sur lequel l'on peut agir dans le but d'étudier et comprendre l'aspect particulier d'une réalité observée ou imaginée, qui peut être un évènement, un phénomène, un comportement, un dispositif ou tout autre système ». (Ahassanne, 2020, p. 65)

Quelle est l'apport de l'utilisation des simulations dans les salles de classes, dans l'enseignement des sciences physiques ?

« L'utilisation des simulations, dans le processus enseignement-apprentissage, facilitera la compréhension des concepts de physique et de chimie à travers les possibilités qu'elles offrent dans le cadre de l'apprentissage comme expliqué dans la section précédente. Cette utilisation, si elle est bien menée, facilitera également les tâches de l'enseignant (comme, par exemple, parler moins (Demba, 2013, p.158), faciliter les explications, contourner éventuellement quelques difficultés liées à la maîtrise de la langue d'enseignement, ou encore, liées aux formulations mathématiques, etc.). La suscitation d'une grande motivation des élèves à l'apprentissage, et la facilitation de la compréhension des concepts de physique pourrait les amener à s'intéresser d'avantage à la discipline » (Mbouilou, 2019)

Selon (Jemaa, 2017, p. 38), « plusieurs travaux (Richoux et Beaufils, 2005 ; Michelet, Luengo, Adam, 2005) menés sur l'utilisation des simulations dans l'enseignement des sciences physiques, dont la plupart se situent dans le cadre des remédiations (Saadi, 2003 ; Michelet, 2006), présentent généralement un apport indéniable pour la construction des connaissances chez les apprenants. »

L'utilité de la simulation numérique étant donc établie dans l'enseignement/apprentissage, il faut tout du moins se rendre compte que son utilisation nécessite une maîtrise préalable des instruments qui la rend bien possible. Il s'agit de la connaissance sur les logiciels et les théories et modèles sur le(s) concept(s) pour le(s)quel(s) on fait la simulation.

S'agissant des logiciels, « De Vries (2001) définit huit types de logiciels éducatifs : les tutoriels, les exercices, les tuteurs intelligents, les jeux sérieux, les hypermédias, les simulateurs, les micros mondes, et les collabociés ». (Mboulou, 2019, p. 42)

S'agissant de la théorie et des modèles, le but de la simulation numérique est de renforcer les connaissances théoriques en utilisant les modèles pour mettre en relation le monde perceptible ou monde des objets (phénoménographique) et le monde du reconstruit ou monde des théories, modèles (phénoménologique). Ainsi, « la simulation apparaît comme un plan intermédiaire entre le monde réel et le monde des théories et des modèles, ce qui permet de mettre en relation des événements et des phénomènes du monde réel. [...] Beaufils et Richoux (2003) proposent de leur côté un schéma simplifié des différentes orientations qui peuvent exister entre la simulation, le monde matériel et celui des théories. » (Jemaa, 2017)

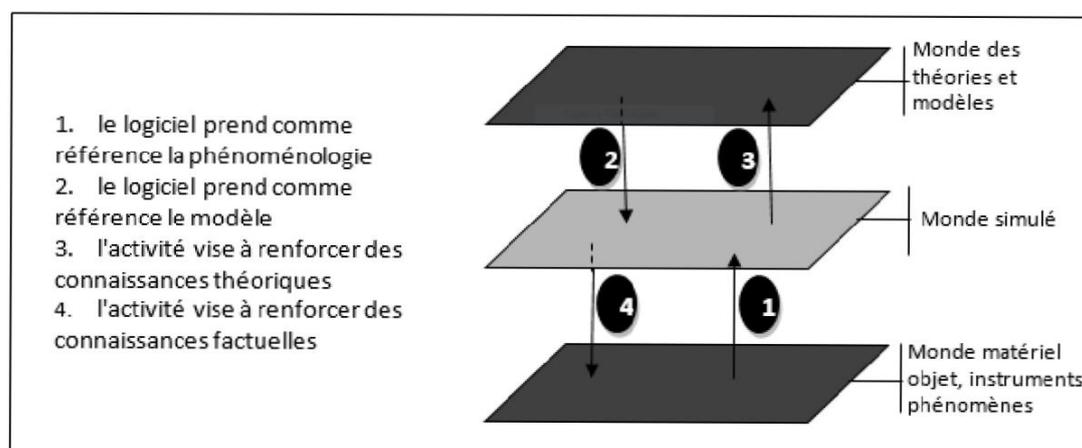


FIGURE 1 : RELATIONS POSSIBLES POUVANT S'ÉTABLIR ENTRE LES DIFFÉRENTS PLANS
(Beaufils, 2003)

« A partir de la schématisation de (Buty, 2000), Beaufils et Richoux (2003) distinguent alors deux catégories de relation possible entre les différents plans d'orientation de cette représentation :

Pour le logiciel :

- Le logiciel prend comme référence la phénoménologie : les objets et instruments sont représentés (de façon plus ou moins réalistes) et la phénoménologie est représentée (aspects visibles, ou rendus visibles, des phénomènes) ;
- Le logiciel prend comme référence le modèle : les objets réels sont représentés de façon symbolique, les instruments sont en principe absents (ou représentés de façon très symbolique).

Pour les activités :

- L'activité vise à renforcer des connaissances relatives au modèle et/ou à la théorie ;
- L'activité vise à renforcer des connaissances factuelles et des aptitudes à la reconnaissance de phénomènes. » (Jemaa, 2017, p. 37)

Cette transition entre les deux mondes se fait par l'usage des représentations à l'aide des signes. Ces signes sont généralement des pointilles, des petites boules, des courbes, des petits traits, etc. cette exigence de la simulation favorise l'investissement cognitif des apprenants non seulement dans les deux mondes, mais aussi dans l'espace intermédiaire qui les sépare. Selon (Beaufils, 2003) cité par (Jemaa, 2017, p. 32), « l'espace de réalité » de l'élève n'est pas limité alors aux objets et aux événements, mais doit inclure aussi un « monde de signes ». Par un schéma, (Beaufils, 2003) a distingué ses deux espaces, comme il les nomme : « espace de réalité » et « espace des signes »

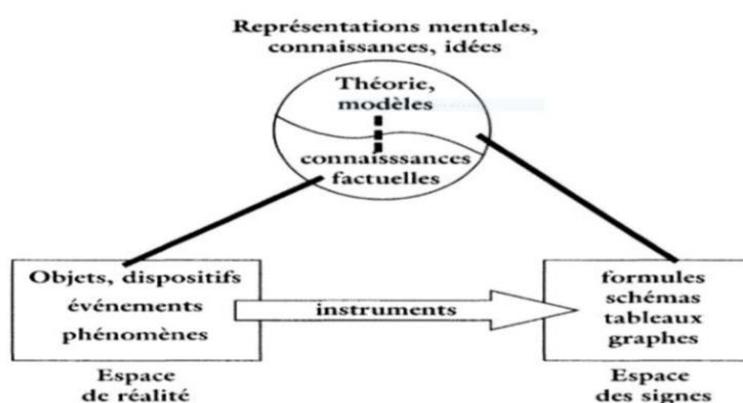


FIGURE 2 : ESPACE DE RÉALITÉ ET ESPACE DES SIGNES

En somme, « il existe deux catégories de simulations : les simulations pour la recherche scientifique et les simulations pour l'enseignement de la science. La différence

fondamentale entre les deux catégories est que les simulations destinées à la recherche scientifique cherchent à mieux comprendre les phénomènes et les processus complexes. Elles sont basées sur la construction de modèles informatiques complexes qui utilisent des théories bien connues (ou des considérations théoriques) et d'autres sources d'informations (Greca et al. 2014, p. 16), voire des artifices. En revanche, les simulations pour l'enseignement de la science sont basées sur des modèles simplifiés du système cible. Elles s'intéressent à un aspect particulier du phénomène simulé (Landriscina, 2013, p. 5) et vise à faire comprendre les concepts de science, mais au aussi les modèles théoriques qui sous-tendent la simulation (Greca et al. 2014, p. 16). Selon les auteures, une telle simulation a besoin du guidage de l'enseignant. Les simulations ou modèles de simulation conçus pour l'apprentissage sont désignés, dans la littérature anglo-saxonne par Simulation-Based Learning (Landriscina, 2013, p. 99) ou Model-Based Learning (MBL) (Greca, Seoane, Arriasecq, 2014, p. 18)

Ainsi, selon Smetana et Bell (2012) les simulations les plus efficaces pour l'apprentissage sont celles qui permettent d'améliorer la compréhension des concepts, le changement conceptuel et développement les habilités procédurales» (Ahassanne, 2020, p. 68)

2.3. Analyse des difficultés

Après une étude historique et épistémologique du concept de nombre d'oxydation et une revue de littérature sur ce dernier, chacune suivant son objectif assigné, il nous semble pertinent de faire une analyse critique sur les difficultés d'enseignement-apprentissage des concepts de la chimie en général et de ceux de l'oxydoréduction en particulier. Cette analyse nous permettra davantage de construire un cadre didactique plus efficace pour faire apprendre aux élèves le concept de nombre d'oxydation avec le minimum d'obstacles possible.

2.3.1. Difficultés langagières

La littérature a montré que la langue constitue un obstacle d'apprentissage chez les apprenants ; que le langage scientifique n'est pas toujours conforme au langage commun. Dans l'apprentissage de chimie, ce problème d'inconfort entre de langage scientifique et le langage courant est récurrent (Mohamed SOUDANI D. C., 1998). C'est à l'exemple des définitions de certains concepts de la chimie. Dans des documents de chimie, on retrouve des

définitions telles : un cation est un atome (ou groupe d'atomes) qui a perdu au moins un électron ; c'est un ion positif noté X^{n+} (X représente un élément chimique et n représente le nombre de charge de l'ion) alors qu'un anion est un atome (ou groupe d'atomes) qui a gagné au moins un électron ; c'est un ion négatif noté X^{n-} . Il n'est pas de sens commun de comprendre la marque de la perte (d'électrons) par le signe positif (+) ni de comprendre la marque du gain (d'électrons) par le signe négatif (-). De même, Une **oxydation** est une transformation chimique au cours de laquelle une espèce chimique **perd** des électrons et un **oxydant** est une espèce chimique capable de capter ou **gagne** des électrons. Une **réduction** est une transformation chimique au cours de laquelle une espèce chimique **gagne** des électrons et un **réducteur** est une espèce chimique capable de **perdre** des électrons. Dans le langage commun, on ne traduirait pas le **gain** par la **réduction**. De plus, autre que l'appellation « nombre d'oxydation », les apprenants reçoivent deux autres appellations dont « degrés d'oxydation » et « état d'oxydation » qui sont prises au même niveau de signification. Ainsi trois mots dont « nombre », « degré » et « état » se présentent à désigner un même concept alors que ces mots ne sont pas de synonyme entre eux.

D'ailleurs, « le langage scientifique est constitué de trois langages distincts : 1) le langage naturel employé dans les énoncés, 2) le langage symbolique constitué par les symboles et les unités et 3) le langage graphique constitué des éléments visuels (graphes, histogrammes, figures) » (Halloun, Novembre 2019). Chacun de ses langages peut constituer un obstacle à l'apprentissage, encore plus que certaines relèvent de la pure abstraction.

2.3.2. Difficulté de conception

« Une conception est un système explicatif personnel et fonctionnel, qui n'est pas nécessairement exprimé au cours des activités scolaires » (Astolfi, 2008). Un apprenant n'étant donc pas un tabula rasa, possède une conception propre à lui qui constitue d'ailleurs une base de jugement pour toute conception nouvelle. Cette conception de l'apprenant influence significativement l'apprentissage d'un concept nouveau. L'obstacle provient généralement de la non-prise en compte de la conception de l'apprenant par l'enseignant. De plus, « Les concepts scientifiques sont mis en forme pour les rendre accessibles aux apprenants au prix d'une transformation en rapport avec l'âge et les acquis préalables des élèves. » (SNAUWAER, 2015). Cette transformation que subit le savoir est appelée « transposition didactique » (Verret, 1975). La chaîne de cette transposition didactique est telle que :

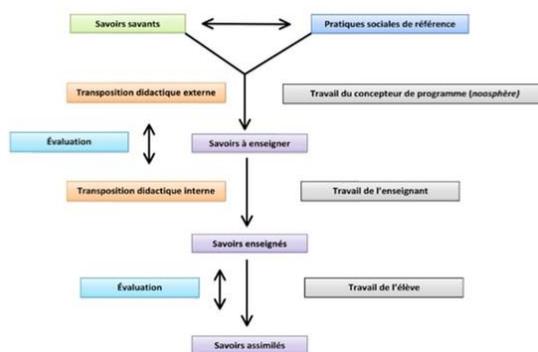


Figure 3: Chaîne de la transposition didactique à la lumière des travaux de Chevallard et de Perrenoud

Dans le cas de l'enseignement scientifique, une distinction doit donc être faite entre la chimie du chimiste, la chimie à enseigner, la chimie enseignée, la chimie apprise par les élèves (Boilevin, 2013). Cette chaîne de transposition didactique fait ressortir les rapports entre le savoir, l'enseignant et l'apprenant. Du rapport entre enseignant et le savoir, il faut noter que l'enseignant trouve dans un curricula un savoir qui a déjà subi une transformation faite par la noosphère (Chevallard Y. et Joshua M., 1985-1991) qui transforme le savoir savant comme l'a appelé Chevallard en savoir à enseigner ; c'est la transposition externe. L'enseignant transforme ce savoir à enseigner en savoir enseigné afin que l'apprenant le reçoive comme savoir assimilé. C'est la transposition interne. Ce « savoir » reçu par l'apprenant est en réalité une connaissance et ne peut être savoir dès que l'apprenant le mobilisera dans une situation-problème qui rendra compte de la compétence de ce dernier. Cette transposition didactique est une source potentielle des difficultés ou d'obstacles à l'apprentissage mais aussi à l'enseignement.

D'après Brousseau (2010), on distingue trois types d'obstacles :

- Les obstacles épistémologiques dont l'origine se situe dans l'histoire et dans la culture,
- Les obstacles didactiques générés par l'enseignement ;
- Les obstacles ontogénétiques dus au développement cognitif (psychologique des apprenants).

Ces obstacles didactiques peuvent être liés aux outils didactiques ; particulièrement au manuel scolaire.

2.3.3. Difficultés liées aux manuels scolaires.

Selon (Riquois, 2010) cité par (Halloun, Novembre 2019), le manuel scolaire constitue le matériel didactique préféré des enseignants. Ils s'y réfèrent pour retrouver le savoir à enseigner ainsi que les stratégies de travail (lectures, exercices, travaux pratiques, etc.) qu'ils peuvent proposer aux élèves. Son usage détermine la méthode d'enseignement (Mingat et Suchaut, 2000) cité par (Halloun, Novembre 2019) et donc peut constituer une source d'obstacles à l'apprentissage. Son analyse est donc importante pour comprendre l'origine des difficultés.

Dans le livre au programme de chimie en classe de première CD, le nombre d'oxydation est défini comme étant « un nombre écrit en chiffre roman qui détermine le degrés d'oxydation d'une espèce chimique. » Cette définition ne peut permettre à un apprenant de s'approprier le concept de nombre d'oxydation, elle véhicule la représentation symbolique conventionnelle de ce dernier. Il y est dit que le nombre d'oxydation est purement conventionnel ; ce qui n'est pas vérifiable.

« La définition du nombre d'oxydation reste non acquise par la majorité des étudiants et elle est même parfois confondue avec la valence de l'élément. La difficulté paraît alors être intrinsèque à la notion de nombre d'oxydation elle-même... Nous avons souligné que certains chercheurs [6] pensent que le nombre d'oxydation est une attribution artificielle et arbitraire de certains nombres aux éléments et que les étudiants l'envisagent comme une combinaison fortuite permettant de jouer à un jeu... »
(Mohamed SOUDANI D. C., 1998, p. 1868)

Dans ce livre, on retrouve des méthodes de calcul de nombre d'oxydation telles que :

- Le nombre d'oxydation d'un élément dans un corps pur simple ou d'un atome isolé est nul.
- Le nombre d'oxydation d'un élément dans un ion monoatomique est égal au nombre de charge de cet ion.
- Dans une molécule, le nombre d'oxydation d'un élément est égal à la charge fictive que porte l'atome de cet élément. Dans HCl, n.o (H)= +I et n.o (Cl)= -I Dans H₂O, n.o (H)= +I et n.o (O)= -II.
- Dans un ion polyatomique, la somme des nombres d'oxydation de tous les éléments est égale à la charge de l'ion. Dans SO₄²⁻, n.o(S) + 4n.o(O)= -II; dans H₃O⁺, 3n.o (H) + n.o (O)= +I

Bien que ces méthodes permettent aux apprenants de parvenir à calculer le nombre d'oxydation d'un élément, elles relèvent des énoncés logico-mathématiques. (Jacquemain, 2014). Elles ne permettent pas de comprendre comment dans une molécule ou groupe atomique, un élément puisse avoir plusieurs nombres d'oxydation. Cette démarche algorithmique n'a en réalité aucun rapport conceptuel avec le concept chimique de nombre d'oxydation. A cet effet (Mohamed SOUDANI D. C., 1998, p. 1868) note que : « Notre enseignement, favorisant plutôt le bachotage, pousse les étudiants à se pencher davantage sur les algorithmes et les problèmes de calcul en négligeant, dans la plupart des cas, le vrai sens des concepts qu'ils utilisent, pourvu qu'ils réussissent les exercices traditionnels »

Le nombre d'oxydation est une théorie empirique (ANDRIANTSILAVO Parsonnette, analyse de la transposition didactique du concept d'oxydoréduction dans les programmes malgaches et manuels scolaires, 2006) qui ne peut donc pas se vérifier par la démonstration comme les énoncés logico-mathématiques mais plutôt par déduction suite à l'observation. (Jacquemain, 2014).

2.4. Analyse conceptuelle

Les difficultés d'enseignement-apprentissage proviennent parfois des obstacles épistémologiques (dû au manque ou peu de culture sur le concept) et/ou des obstacles didactiques (dû à la transposition d'un concept).

Un concept est une représentation mentale d'un ensemble d'objets ou d'évènements ayant au moins une caractéristique commune. (Lalonde, 2016) C'est une unité de connaissance constituée d'un ensemble unique de caractères et qui peut généralement s'exprimer par un terme. (Robert Vézina, 2009). Le concept peut être soit abstrait, soit concret mais quel que soit le cas, il est lié à un objet.

Dans les résumés de cours, un concept est abordé par sa définition. Lorsqu'on veut enseigner la quantité de matière par exemple, elle est définie tout d'abord. Il est pareil pour tout autre concept. Une définition est un énoncé linguistique qui décrit un concept et qui permet de le situer dans un système conceptuel. Elle peut être soit terminologique qui s'attache à décrire, à énoncer un concept (ou notion) désigné par un terme et à le caractériser par rapport à d'autres concepts à l'intérieur d'un système organisé appelé système conceptuel, c'est une définition par compréhension, elle prend sens dans un domaine ou un sous-domaine précis ; soit lexicographique qui cherche à décrire le ou les sens d'une unité lexicale ; c'est une définition

par extension, une définition morphosémantique et une définition métalinguistique. La définition du concept de nombre d'oxydation dans les manuels scolaire doit se ranger dans celle par compréhension et donc terminologique. (Robert Vézina, 2009)

Selon (Robert Vézina, 2009), il existe trois modes de définitions par compréhension dont :

- **La définition générique** : c'est une définition du concept par sa fonction, son usage ou utilité. Exemple : l'eau de javel est un produit servant de désinfectant de l'eau.
- **La définition partitive** : c'est la définition par compréhension qui établit une relation partie/tout ou tout/partie. Exemple : le pont salin est une partie de la pile électrochimique.
- **La définition catégorielle** : c'est une définition qui commence par des mots tels action, fait, phénomène, procédé. Par exemple, l'électrolyse de l'eau est l'action de décomposition de l'eau par le courant électrique en ses différents constituants

Robert Vézina (2009) a établi huit principes auxquels doit se conformer une définition d'un concept. Il les a donnés le nom de principes définitoires. Ces principes définitoires sont (Robert Vézina, 2009, pp. 12-16) :

- **Principe de concision (PC)** : une définition doit aller directement au but et être brève, écarter toute redondance et mots inutiles et privilégier les termes permettant de synthétiser des périphrases. Le principe de concision exige du rédacteur qu'il s'en tienne aux caractères essentiels et nécessaires, car toute accumulation excessive de caractères risque de transformer la définition en développement encyclopédique. Les renseignements descriptifs non essentiels, mais considérés comme ayant une certaine importance, pourront figurer dans une note, à l'extérieur de la définition.
- **Principe de clarté (PCL)** : le sens et la structure de la définition doivent être exempts d'ambiguïtés, et les termes utilisés doivent être non équivoques, afin d'éviter qu'elle ne prête à interprétation ou qu'elle ne sème la confusion.
- **Principe d'explicitation et d'adéquation (PEA)** : il est reconnu que les principales fonctions de la définition sont de décrire les concepts, de les délimiter, de les distinguer entre eux et d'établir les relations qui se reflètent dans le système conceptuel. Les principes qui découlent de ces fonctions exigent, d'une part, que la définition énonce avec précision les caractères essentiels d'un concept et, d'autre part, qu'elle soit adéquate, c'est-à-dire qu'elle ne s'applique qu'au concept défini et à lui seul.

- **Principe de substitution (PS)** : le principe de substitution découle du principe d'adéquation énoncé précédemment. Pour qu'elle soit acceptable, une définition devrait être réciproque, c'est-à-dire que l'équivalence entre le terme et la définition pourra permettre de remplacer théoriquement l'un par l'autre. Ce principe peut être utilisé pour valider une définition par la substitution de celle-ci au terme défini, dans un énoncé linguistique, sans que cela provoque de perte ou de modification de sens. Le remplacement du terme en contexte par la définition ne devrait pas non plus engendrer de rupture syntaxique.
- **Principe de non-tautologie (PNT)** : la définition ne doit pas être une paraphrase du terme qui désigne le concept ; elle ne peut se résumer à des termes identiques ou équivalents qui ne disent rien de plus que le terme défini.
- **Principe de généralisation et d'abstraction (PGA)** : la définition vise à décrire un concept dans ce qu'il a d'abstrait et d'universel, sans s'attacher à un objet en particulier. En d'autres mots, un rédacteur doit penser à définir un concept sans s'attacher à une représentation qui peut lui être familière.
- **Principe d'adaptation aux groupes cibles (PAG)** : le principe d'adaptation aux groupes cibles sera déterminant dans le niveau de clarté et de concision de la définition, mais aussi de spécialisation du vocabulaire définitoire, car la définition doit être adaptée aux lecteurs à qui elle s'adresse afin d'être bien comprise.
- **Principe de prévisibilité (PP)** : le principe de prévisibilité, appliqué à la définition, permet de prévoir la place qu'occupera le concept -ou de refléter la place qu'il occupe- dans un système conceptuel.

Trois de ces huit principes sont indispensables pour une bonne définition d'un concept par compréhension. C'est de ces trois qu'en réalité découlent les cinq autres. Ce sont le principe de concision, principe de clarté et principe d'explication et d'adaptation.

2.5. Définitions des concepts

Selon Émile Durkheim (1895) cité par (Djeumeni Tchamabe, 2011, p. 80) « le savant doit toujours définir les choses dont il traite, afin que l'on sache et qu'il sache de quoi il est question. ». (Ahassanne, 2020) Par souci de cohérence dans notre étude, il nous semble convenable de définir les concepts qui constituent notre réseau conceptuel. Y faisant, nous allons conformer ces définitions aux trois principes définitoires indispensables suscités.

2.5.1. Enseignement et apprentissage

Nous retenons par enseignement, une activité intentionnelle impliquant un sujet **A** détenteur d'un savoir qu'il veut faire acquérir à un sujet **B** afin de modifier sa perception du monde extérieur. Et par apprentissage, un ensemble de mécanisme menant à l'acquisition d'un savoir, modifiant ainsi chez un individu sa capacité de perception du milieu externe.

Dans notre étude, l'enseignement et l'apprentissage sont des activités complémentaires qui ne peuvent être séparées. Ils se font simultanément entre deux sujets qui s'y sont engagés volontairement. D'où notre emploi du mot valise « enseignement-apprentissage ».

2.5.2. Nombre d'oxydation

Pour notre étude, nous définissons le nombre d'oxydation par la charge fictive portée par un atome si les électrons de liaison étaient attribués aux atomes les plus les plus électronégatifs. Nous acceptons également la définition suivante : le nombre d'oxydation d'un atome est la différence entre le nombre d'électrons de valence à l'état atomique fondamental et le nombre d'électrons qui lui a été attribué à la suite d'une répartition électronique.

2.5.3. Simulation numérique

Dans cette étude, la simulation numérique et la simulation informatique désignent une même chose. La simulation numérique est une reproduction d'un modèle interactif sur lequel l'on peut agir dans le but d'étudier et comprendre ou d'expliquer une réalité observable ou non. Son utilisation dans l'enseignement-apprentissage favorise la compréhension des concepts chez les apprenants et également facilite la tâche de l'enseignant.

2.6. Les théories explicatives

2.6.1. Théorie du changement conceptuel

L'enseignement-apprentissage dans l'éducation, vise à faire opérer un changement conceptuel chez les apprenants.

« Un enseignement efficace des sciences ne peut se réaliser qu'en provoquant une rupture épistémologique chez l'élève (Thouin, 2017a). Cette rupture, souvent nommée « changement conceptuel », dont certains principes fondamentaux avaient déjà été énoncés par Bachelard, Piaget et Kuhn dès le milieu du XXe siècle, a fait l'objet d'un grand nombre de travaux depuis le début des années 1980. Comme Patrice Potvin l'a clairement montré dans son ouvrage Faire apprendre les sciences et la technologie à

l'école (2019), on peut classer les modèles de changement conceptuel en trois grandes catégories dont l'ordre correspond à leur évolution historique : 1) les modèles de remplacement des conceptions, 2) les modèles de transformation des conceptions et 3) les modèles de coexistence des conceptions. » (Halloun, Novembre 2019, pp. 60-61)

L'apprenant, à l'arrivée en salle de classe, a sa propre conception du monde que des auteurs ont appelée connaissance initiale ou conception naïve ou encore connaissance commune acquise dans son milieu de vie et dans les événements culturels. Cette conception initiale doit, d'après les trois modèles de changement conceptuel être, soit remplacé ; soit transformé ou bien coexiste.

Du remplacement conceptuel : l'enseignant présente une compréhension satisfaisante qui s'oppose clairement à celle de l'apprenant sur un concept donné de telle sorte que ce dernier puisse de par son initiative personnelle abandonner sa compréhension initiale au profit de la nouvelle.

De la transformation conceptuelle : l'enseignant présente à l'apprenant un niveau de compréhension supérieur ou autre à seule que possède ce dernier afin qu'il puisse restructurer son univers conceptuel, marque d'une évolution ou d'un changement conceptuel. Par exemple, parlant du concept d'acide, l'apprenant sait qu'un acide est une espèce chimique capable de céder un ou plusieurs protons au cours d'une réaction de dissolution (comme exemple d'acide : H_2SO_4 , HCl , ...); l'enseignant lui présente d'autres espèces qui ne peuvent pas céder un proton ou du moins qui n'ont pas de protons à céder mais qui sont des acides du fait de la présence d'une case quantique vide dans sa structure qui leur permet d'accepter une paire d'électrons (comme exemple : Al , BF_3 , ...). L'apprenant en ressort avec une conception évoluée sur le concept d'acide.

De la coexistence conceptuelle : il s'agit d'une conception (initiale) non scientifique de l'apprenant qui résiste face à la conception (nouvelle) scientifique. L'enseignant doit prescrire un ensemble d'activités qui puissent permettre la domination de la conception scientifique jusqu'à l'inhibition complète de celle non scientifique.

Quel que soit le modèle de changement conceptuel, il doit consister en la modification d'une connaissance initiale ou conception naïve ; cette modification marque le processus d'apprentissage. Selon (Musial, Pradère & Tricot, 2012, p. 6) cité par (Ahassanne, 2020, p. 101) « Le changement conceptuel est un type de conceptualisation (Chartand & De Koninck, 2009,

p. 154) qui intervient à l'issue d'un enseignement formel qui tend à faire changer à l'apprenant, sa façon de comprendre le monde ». Selon Bêty (2010, p. 1), « l'apprentissage des concepts scientifiques requiert un changement conceptuel », c'est-à-dire, « une évolution des conceptions des élèves en sciences ». Notre étude s'inscrit dans le cadre d'enseignement-apprentissage, elle doit donc pouvoir déclencher un changement conceptuel chez les apprenants. Pour se faire, l'enseignant doit identifier et prendre en compte les conceptions scientifiques ou non des apprenants (comme soutient (Astolfi & Develay, 2002) cité par (Ahassanne, 2020, p. 102), « ces conceptions initiales peuvent être en conformité avec les conceptions scientifiques, ou se révélées non conformes ») afin que celles-ci ne deviennent un obstacle à l'apprentissage. Ahassanne (2002) nous apprend de (Bachelard, 1970, p. 13-14) cité par Chekour et al. (2015, p. 2) que « en fait, on connaît contre une connaissance antérieure, en détruisant des connaissances mal faites, en surmontant ce qui, dans l'esprit même, fait obstacle à la spiritualisation. (...) Il est alors impossible de faire d'un seul coup table rase des connaissances usuelles. (...) Quand il se présente à la culture scientifique, l'esprit n'est jamais jeune. Il est même très vieux, car il a l'âge de ses préjugés ».

Notre étude vise alors un changement conceptuel chez les apprenants vis-à-vis du concept de nombre d'oxydation. Pour vérifier le changement, nous allons dans un premier temps recueillir leurs conceptions initiales du nombre d'oxydation puis les faire participer à une ou deux séances d'enseignement-apprentissage sur ce concept et ensuite recueillir de nouveau leurs conceptions afin de faire une étude comparative avec les conceptions premières ou initiales.

2.6.2. Théorie des deux mondes

La théorie des deux mondes est un cadre conceptuel, développé par la didactique de physique, qui permet d'analyser du point de vue épistémologique et cognitive les conceptions des apprenants au cours d'une séance d'enseignement-apprentissage. Lors d'enseignement-apprentissage, l'apprenant possède déjà une idée ou une connaissance sur l'objet étudié, c'est la conception naïve ; elle peut être conforme ou non à la conception scientifique. Cette conception dite naïve est le produit du quotidien de l'apprenant. « La théorie des deux mondes permet de distinguer deux cadres explicatives (celui de la physique et celui de la vie quotidienne, du « quotidien ») susceptible d'intervenir dans le processus de modélisation (considéré en tant que mise en lien entre le monde « des choses », celui des objets et des événements et le monde des théories et des modèles). » (Cécile de Hosson et F. Elias, 2021) Selon Tiberghien et Vince (2005, pp. 1-2) cite par (Ahassanne, 2020, p. 103), les conceptions des élèves comportent deux aspects : « Le

premier [aspect] porte sur l'utilisation du langage quotidien par les élèves quand ils traitent de sujets scientifiques. L'écart entre le langage quotidien et le langage scientifique, en particulier l'utilisation d'un même terme avec des sens différents, est notoire. (...). [Le second] aspect, plus directement lié à l'expérience du monde matériel, porte sur la causalité utilisée pour interpréter le monde matériel. ».

En réalité, le problème de l'apprenant est qu'il n'arrive pas à associer exactement au concept en jeu l'objet ou l'évènement correspondant. « La théorie des deux mondes consiste à considérer, dans le cadre de cette modélisation, qu'il existe deux mondes étroitement liés : le monde des objets et évènements, directement observables dans le monde physique réel, en ce qui concerne la physique élémentaire enseignée au niveau lycée et collège, et le monde des théories et modèles, qui relève du monde des concepts et des modèles théoriques de situations matérielles étudiées» (Ahassanne, 2020). Le but de l'enseignant est d'amener l'apprenant à faire une liaison entre ces deux mondes et être capable de se servir ces mondes pour interpréter, comprendre et expliquer un phénomène ou un concept.

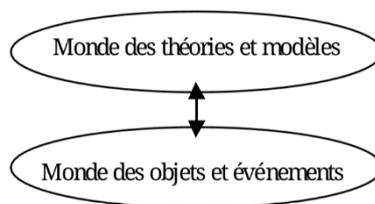


FIGURE 4: DISTINCTION ENTRE DEUX MONDES, FONDÉE SUR LA MODÉLISATION EN PHYSIQUE (TIBERGHIEU & VINCE, 2005, P. 4)

Dans le cadre de notre étude, nous nous servons de la relation entre le monde des objets (dimension phénoménographique) et le monde des théories ou du reconstruit (phénoménologique). Les objets ici sont des symboles représentant les éléments chimiques, des tirets représentant des liaisons chimiques et des petits points représentant les électrons.

2.6.3. Le socioconstructivisme

Le Socioconstructivisme est une théorie du développement cognitif, qui confère une dimension sociale essentielle aux processus cognitifs qui régissent l'apprentissage. D'après (Anastassis Kozanitis, 2005), « Le socioconstructivisme est une théorie qui met l'accent sur la dimension relationnelle de l'apprentissage. Issu en partie du constructivisme, le socio-constructivisme ajoute la dimension du contact avec les autres afin de construire ses connaissances ». Vygotsky en est l'auteur. Pour ce dernier, l'acquisition des connaissances passe par un processus qui va

des connaissances interpersonnelles aux connaissances intra personnelles. Par-là, il confère une importance capitale aux interactions entre l'individu et son environnement social. Parlant des interactions, Vygotsky en a distingué deux types :

- Les interactions dissymétriques de guidage : Il s'agit de l'interaction entre un sujet naïf et un sujet expert. Le premier est aidé par le second dans l'acquisition d'un savoir ou d'un savoir-faire. Exemple : l'interaction entre l'enseignant et l'apprenant.
- Les interactions symétriques de résolutions conjointes : Il s'agit ici d'une symétrie de rôles entre pairs, de constructions conjointes d'un savoir. Les deux acteurs sont au même ordre de développement cognitif. Exemple : l'interaction entre les apprenant de même niveau d'apprentissage ou entre les enseignant d'une même discipline.

« La construction d'un savoir, bien que personnelle, s'effectue dans un cadre social ». (Anastassis Kozanitis, 2005) Elle est influencée par le développement cognitif de l'apprenant. À cet effet, Piaget, s'opposant à Vygotsky, soutient que le développement cognitif d'un individu remorque l'apprentissage. Pour Piaget, l'individu ne peut apprendre que dès qu'il est prédisposé psychologiquement à cet effet. Pour Vygotsky, c'est par l'interaction avec environnement le développement cognitif d'un individu s'affirme. Le développement cognitif est une théorie qui repose sur deux principes : Le More Knowledgeable Others (MKO) et La Zone Proximale de Développement (ZPD).

Le More Knowledgeable Others (MKO) : c'est toute personne qui a une compréhension meilleure que l'apprenant à l'égard d'une tâche particulière, d'un processus ou d'un concept. Le MKO est, dans le cadre de l'enseignement-apprentissage, un enseignant, un entraîneur ou formateur peu importe son âge. Le MKO peut également être un ordinateur ou un logiciel.

La Zone Proximale de Développement (ZPD) : c'est l'endroit où l'enfant peut accomplir une tâche en vertu d'une orientation d'un adulte ou d'un collaborateur, d'un pair ; tâche qui ne pourrait être réalisée seule. Vygotsky suppose que cette ZPD est l'écart entre ce que l'individu est capable de réaliser intellectuellement seul à un moment de son parcours et ce qu'il serait à mesure de réaliser avec la médiation d'autrui (le MKO).

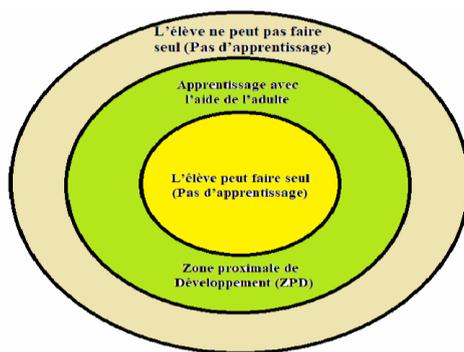


FIGURE 5: ZONE PROXIMALE DE DÉVELOPPEMENT DE VYGOTSKY

Dans notre étude où l'on vise la construction d'un savoir par les apprenants, le socioconstructivisme (suivant le point de vu de Vygotsky) a droit de cité au cause des interactions entre apprenants et entre apprenant-enseignant qui vont accompagner ce processus d'enseignement-apprentissage envisagé. Ici, le MKO sera constitué de l'enseignant, des apprenants et le logiciel simulateur. La ZPD des apprenants sera obtenue par l'évaluation de la production de ces derniers avant (pour connaître ce qu'ils ne peuvent pas faire seuls et ce qu'ils peuvent faire seuls) et après (pour connaître ce qu'ils peuvent faire avec l'appui d'un pair) la séance d'enseignement-apprentissage.

PARTIE 2 : CADRE MÉTHODOLOGIQUE DE L'ÉTUDE

CHAPITRE 3 : MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

Les recherches en didactique semblent avoir pour but de favoriser l'activité d'enseignement-apprentissage ; de ce fait, elles mettent en liaison la communauté scientifique et celle praticienne (les enseignants). C'est une recherche de développement «de formation ». Comme toute recherche se donne une démarche méthodologique (qui puisse permettre de reproduire la recherche aux fins de la vérification de véracité), selon notre objectif d'étude, notre recherche adopte la démarche ci-après pour examiner la validité de notre hypothèse. On trouve dans ce chapitre le type de recherche de notre étude, son approche méthodologique, l'échantillon, les outils et techniques de collectes des données et expérimentation y afférente.

3.1. Type de recherche

En didactique, les types de recherches qu'on rencontre généralement sont : la recherche descriptive, la recherche quasi-expérimentale et la recherche de théorisation. Pour notre étude, du fait qu'elle nécessite l'expérimentation d'un mode de transposition d'un contenu d'enseignement-apprentissage dans la construction d'un concept et du fait qu'elle s'appuie sur des théories, nous sommes amenés à choisir le type de recherche quasi-expérimental. Comme une recherche expérimentale, la recherche quasi-expérimentale permet de vérifier une ou plusieurs hypothèses causales (identifier la relation de cause à effet entre deux variables : la variable indépendante et la variable dépendante). Elle se différencie de la recherche expérimentale par le fait qu'elle utilise des critères non aléatoires pour répartir les sujets à des groupes (la recherche expérimentale parle de groupes de traitement ou groupe expérimental et groupe de control alors que la quasi-expérimentale parle du groupe expérimental et du groupe témoin). (VoXco)

3.2. Approche méthodologique

L'approche méthodologie est l'ensemble des techniques, des procédés et des moyens employés pour apprécier la validité d'une ou plusieurs hypothèses de recherche. Dans le cadre de notre recherche, nous adoptons une approche quantitative du fait de la nature des données que nous voulons collecter.

3.3. Echantillon

3.3.1. Population cible

Notre étude est orientée vers les élèves de classe de première scientifique de l'enseignement général du Cameroun. Ils constituent ainsi notre population cible. Cette population n'étant pas accessible, nous avons fait recours à la technique d'échantillonnage pour avoir une population accessible représentative. Les élèves de la classe de première scientifique de l'enseignement secondaire général sont soumis au même programme d'étude sur une même durée, les enseignements sont dispensés suivant l'approche par les compétences avec entrée par une situation-problème. Leur uniformité nous amène à porter le choix sur un établissement qui constitue une unité de notre population cible. Ce choix ne s'est fait sous aucun critère scientifique. L'étude serait valable pour n'importe quel établissement d'enseignement secondaire général au Cameroun.

Notre population accessible est l'ensemble d'élèves de classe de première scientifique du lycée de Ngoa-Ekellé. Ceci veut dire les élèves de la classe de première C et première D de cet établissement.

3.3.2. Méthode d'échantillonnage

Au regard de la large taille de notre population accessible, il nous a semblé pertinemment nécessaires de procéder à un échantillonnage représentatif une fois de plus par la méthode de choix raisonné. À notre arrivé au lycée de Ngoa-Ekellé, les enseignants avait déjà fait le cours sur l'oxydoréduction par voie sèche et abordé le concept de nombre d'oxydation dans certaines classes, en occurrence la classe première C, première D₁, première D₃ et première D₄. En classe de la première D₂ ce cours n'avait pas encore été fait ; ce léger retard dans la progression pédagogique est expliqué par la mise en congé de maternité de leur enseignante. Toutefois, il faut signaler qu'une fiche de la leçon a été mise à la disposition des apprenants. Mais formellement, les apprenants ont déclaré à l'unanimité que ce cours n'a pas été fait ; une déclaration que l'administration de l'établissement a d'ailleurs confirmée. De plus ces apprenants de la classe de première D₂ affirment n'avoir pas exploité cette fiche de la leçon et par conséquent n'ont pas de connaissance sur l'oxydoréduction par voie sèche et particulièrement sur le concept de nombre d'oxydation. Les apprenants de cette classe de première D₂ constituent ainsi notre groupe expérimental.

Notre échantillon de recherche est constitué de 50 apprenants ou élèves de classe de première scientifique du lycée de Ngoa-Ekellé. Il est subdivisé en deux groupes comme l'exige la méthode quasi-expérimentale de la recherche et est réparti ainsi qu'il suit :

- 25 élèves ou apprenants des classes de première C, première D₁, première D₃ et première D₄ ont constitué notre **groupe témoin**.
- 25 élèves ou apprenants des classes de première D₂ ont constitué notre **groupe expérimental**.

Le groupe témoin est les élèves qui ont suivi le cours sur le concept de nombre d'oxydation suivant l'enseignement classique avec leurs différents enseignants. Ces 25 élèves ont accepté délibérément sans pression aucune ni gêne de répondre au questionnaire.

Le groupe expérimental est les élèves de la classe de première de D₂ qui n'ont pas fait formellement le cours sur le concept de nombre d'oxydation et qui ont accepté délibérément de suivre la séquence d'enseignement-apprentissage conçue dans le cadre de notre étude. C'est après cette séquence d'enseignement-apprentissage que ces élèves ont rempli répondu au questionnaire, bien évidemment en se servant des connaissances acquises lors de cette séquence de cours.

3.4. Collecte de données

3.4.1. Instrument de collecte de données

Pour recueillir les données auprès des élèves, nous avons utilisé le questionnaire papier-crayon. Tout d'abord, nous avons procédé par la validation du questionnaire en le présentant d'abord aux camarades de promotion et aux aînés académiques. Leurs commentaires nous ont permis de revoir le questionnaire dans le fond et la forme afin qu'il soit convenable à la recherche et à la population cible. Ces commentaires nous ont aussi permis de revoir les types des items ou questions et leurs ordres, de les reformuler en adaptant le style de langage au niveau de la population cible et à la discipline afin d'éviter toute ambiguïté de compréhension des items par les élèves cibles. Également, les commentaires des pairs nous ont amené de revoir à la baisse le nombre des items ou questions de cet outil de collecte. Ces ajustements étaient dans l'objectif de produire un questionnaire qui puisse nous permettre de répondre efficacement à notre question de recherche ou bien qu'il puisse nous permettre de mieux nous positionner sur notre hypothèse de recherche après dépouillement. Après ces ajustements, nous avons présenté le questionnaire de nouveau à quelques individus de la population cible de la recherche afin de

vérifier si les questions sont bien comprises. Ceux derniers n'ont manifesté aucun gêne à la compréhension et au remplissage dudit questionnaire. L'outil de collecte des données, suivant l'appréciation de nos encadreurs de recherche est bon pour usage. Il sied au problème et à la question de recherche.

Ce questionnaire est constitué de huit questions dont sept questions semi-ouvertes et une question ouverte. Cette type de question nous permet de mieux recueillir les conceptions des élèves et également permet à ce que les élèves puissent être amenés à répondre librement à toutes les questions. Il est constitué de deux parties dont l'identifiant du répondant et la partie des questions. Juste avant les questions, certaines données ont été fournies pour que le répondant puisse sans servir par nécessité.

3.4.2. Méthode de collecte de données

La collecte des données pour notre recherche s'est faite en deux temps (avant et après la séquence d'enseignement-apprentissage).

Dans un premier temps, elle s'est faite auprès du groupe témoins de notre échantillon de recherche. Ceci, pour recueillir les conceptions de ces élèves (échantillon de recherche) sur le concept de nombre d'oxydation après l'enseignement classique qu'ils ont fait avec leurs enseignants. C'est ce qui est considéré comme le pré-test de notre recherche. 25 élèves ont rempli correctement le questionnaire.

Le deuxième temps de collète de donnés est celle après l'expérimentation (notre test) qui est détaillée dans le paragraphe suivant. Cette deuxième et dernière collète des données est dans le but de recueillir les conceptions des élèves (groupe expérimental de l'échantillon) après l'expérimentation-test. Ces apprenants ont mobilisé les connaissances acquises lors de l'expérimentation pour répondre au questionnaire. C'est ce qui est considéré comme le post-test de notre recherche. 31 apprenants ont participé à ce post-test mais seuls 27 ont pu remplir correctement le questionnaire. Par souci d'équilibre de taille de groupe témoin et groupe expérimental, seuls 25 questionnaire seront retenus pour analyse.

3.5. Analyse à priori du questionnaire

Dans le cadre de notre étude, nous avons utilisé un même questionnaire au pré-test et au post-test. Les questions, bien qu'orientées dans son intégralité sur le concept de nombre d'oxydation, peuvent être regroupées suivant trois objectifs dont vérifier la connaissance des élèves sur les

concepts de base de l'oxydoréduction, identifier les conceptions des élèves sur le concept de nombre d'oxydation et tester la capacité des élèves à mobiliser le concept de nombre d'oxydation pour résoudre un problème.

La question 1, question 2 et question 3 visent la vérification des connaissances des apprenants sur les concepts tels qu'oxydation, réduction et oxydoréduction. Dans le programme de classe, avant d'aborder le concept de nombre d'oxydation, on fait d'abord plusieurs séances de cours sur l'oxydoréduction dans la solution aqueuse ; les termes tels qu'oxydation, réduction, oxydant et réduction sont censés être connus (suivant le modèle électronique) des apprenants. La question 3, question 4, question 5, question 6 et question 8 visent à identifier les conceptions des élèves. Ce sont les questions qui s'intéressent véritablement au concept central de notre étude. Elles renseignent directement sur la conception qu'ont les élèves sur le concept de nombre d'oxydation. Quant à la question 7, elle vise à tester la capacité des élèves à mobiliser les concepts de nombre d'oxydation.

L'usage des questions semi-ouvertes avec la proposition « **e) Autre** » qui est à préciser nous donne une marge importante dans l'analyse des résultats de recherche. Cette proposition qui laisse la latitude au répondant d'exprimer ce qu'il pense au-delà qu'a envisagé le questionnaire dans chaque proposition ; ce qui nous permet de mieux recueillir les conceptions de ce dernier sur le concept engagé dans chaque question. De même, pour la question **5**, **question 6**, et **question 7**, il est demandé au répondant de justifier son choix. Cette justification nous permet de nous rassurer que le répondant ne s'est pas résolu seulement à remplir pour satisfaire le chercheur ; de nous rendre compte de la méthode déployée par le répondant pour parvenir à la réponse choisie. Elle nous permet également de mieux apprécier la contribution de notre test sur l'appropriation du concept de l'étude.

Question 1 : Définir oxydoréduction.

- a) C'est une réaction chimique au cours de laquelle il y'a transfert d'électrons entre deux éléments chimiques.
- b) C'est une réaction chimique au cours de laquelle il y'a transfert de protons entre deux éléments chimiques.
- c) C'est une réaction chimique au cours de laquelle le nombre d'oxydation d'un seul élément chimique diminue.

- d) C'est une réaction chimique au cours de laquelle un élément chimique perd un ou plusieurs électrons
- e) Autre (*à préciser*) :

Cette question a pour objectif de vérifier la connaissance de l'apprenant sur la notion d'oxydoréduction. Elle est identique à celle qu'on retrouve dans le livre programme. Le terme oxydoréduction peut être défini de plusieurs manières suivant le modèle déployé. Dans le cadre de notre étude, sa définition acceptable est celle suivant le modèle électronique. Ainsi la réponse attendue est : **a)**

Sur le plan didactique, la notion d'oxydoréduction est abordée dans le programme de la classe par le modèle de transfert d'électrons. Si le répondant choisit cette réponse, on peut déduire qu'il connaît le terme d'oxydoréduction. Par contre, si le répondant choisit la proposition **e)** et donne une définition d'oxydoréduction qui soit correcte et cadre avec le modèle de transfert d'électrons, on déduirait qu'il connaît mal le modèle de transfert d'électrons de l'oxydoréduction. Et si la définition qu'il propose est correcte et ne cadre pas avec le modèle de transfert d'électrons, on déduirait qu'il méconnaît le modèle de transfert d'électrons d'oxydoréduction. De plus, si la proposition est telle que : c'est une réaction chimique au cours de laquelle il y a simultanément une oxydation du réducteur et une réduction de l'oxydant, elle sera considérée comme une fausse réponse bien qu'elle soit juste ; cela, parce que cette définition contient des concepts dont l'appropriation est prouvée difficile.

Question 2 : Définir oxydation.

- a) C'est une réaction chimique au cours de laquelle un élément chimique gagne ou perd un ou plusieurs électrons.
- b) C'est une réaction chimique au cours de laquelle un élément chimique gagne un ou plusieurs électrons.
- c) C'est une réaction chimique au cours de laquelle un élément chimique perd un ou plusieurs électrons.
- d) C'est une réaction chimique au cours de laquelle le nombre d'oxydation d'un élément chimique diminue.
- e) Autre (*à préciser*) :

Cette question a pour objectif de vérifier le niveau de connaissance des répondants sur le concept d'oxydation. Les propositions sont suivant les deux modèles déployés en salle de classe

pour enseigner l'oxydoréduction. Dans le contenu d'enseignement classique ou expérimental, ce concept y figure et est expliqué suivant les deux modèles que sont les modèles de transfert d'électrons et celui de nombre d'oxydation. Sur le plan didactique, la réponse attendue est **c)**. Si le répondant choisit la réponse attendue, on déduirait qu'il a une bonne connaissance du concept. S'il choisit la proposition **e) Autre** et donne une définition autre que celle suivant le modèle de nombre d'oxydation, on déduirait qu'il n'a pas une bonne connaissance sur le concept. Dans le cas contraire, on dirait qu'il méconnaît ou connaît mal le modèle de transfert d'électrons.

Question 3 : Définir réduction.

- a) C'est une réaction chimique au cours de laquelle le nombre d'oxydation d'un élément chimique augmente.
- b) C'est une réaction chimique au cours de laquelle le nombre d'oxydation d'un élément chimique diminue.
- c) C'est une réaction chimique au cours de laquelle le nombre d'oxydation d'un élément chimique ne change pas.
- d) C'est une réaction chimique au cours de laquelle un élément chimique perd un ou plusieurs électrons.
- e) Autre (*à préciser*) :

Cette question vise à recueillir la conception des apprenants sur le concept de réduction. Dans le programme de classe, le concept de réduction est abordé suivant les deux modèles déployés pour enseigner l'oxydoréduction à savoir le modèle de transfert d'électrons et le modèle de nombre d'oxydation. La réponse attendue est **b)**. Si la réponse attendue est choisie, on déduirait que le répondant s'est approprié du concept de réduction. S'il choisit la proposition e) Autre et donne une définition qui est suivant le modèle de transfert d'électrons, on déduirait qu'il ne connaît pas mieux le modèle de nombre d'oxydation. Dans tous autres cas de réponse, on déduirait qu'il ne s'est pas approprié ce concept de réduction.

Question 4 : Définir nombre d'oxydation d'un atome.

- a) C'est un nombre conventionnel attribué à cet atome au sein d'un groupe d'atomes.
- b) C'est un nombre écrit en chiffre romain qui détermine le degré d'oxydation de cet atome.

- c) C'est un nombre de charge fictive écrit en chiffre romain portée par cet atome si les électrons de liaison étaient attribués aux éléments les plus électronégatifs.
- d) C'est un nombre de charge ionique écrit en chiffre romain de cet atome.
- e) Autre (*à préciser*) :

Cette question a pour objectif de recueillir les conceptions des répondants sur le concept de nombre d'oxydation. Les apprenants qui constituent notre échantillon de recherche ont participé au cours d'enseignements classique avec l'enseignant en salle de classe pour ce qui est du groupe témoin et au cours d'enseignement expérimental (test) sur le concept de nombre d'oxydation. Les différences remarquables entre ces deux enseignements résident au niveau du contenu et du mode de transposition. Du fait que le concept ne puisse changer quel que soit la méthode pédagogicodidactique employée, l'acceptation du concept de nombre d'oxydation juste à attendre des répondants est celle de notre recherche (celle retenu après la revue de littérature). Ainsi, la réponse attendue est **c**). Si cette réponse est choisie, on déduirait que le contenu ainsi que la simulation numérique a permis à l'apprenant de s'appropriier le concept. Si le répondant choisit la proposition **e) Autre** et donne une proposition juste (qui fait partir des acceptions du concept dans notre étude), cela sera accordé analysé tel qu'un processus d'appropriation en cours. Si le répondant choisit les propositions qu'on retrouve dans le contenu d'enseignement classique à l'exemple de la proposition **b**), on déduirait que le problème est d'ordre didactique. Le répondant aurait restitué que ce qu'on lui a appris en tant connaissances non factuelle qui ne permet pas l'appropriation du concept.

Question 5 : Le nombre d'oxydation de l'élément chimique Cuivre (**Cu**) dans la molécule

Cu₂O est :

- a) + II
- b) - II
- c) + I
- d) - I
- e) Autre (*à préciser*)

Justifier votre choix :

L'objectif de cette question est de connaître la méthode que le répondant emploie pour déterminer le nombre d'oxydation d'un élément chimique dans un groupe atomique. En enseignement classique, la méthode privilégiée ou du moins utilisée est celle

logicomathématique. La méthode donc nous voulons apprécier la pertinence ou l'efficacité dans la détermination du nombre d'oxydation est celle basée sur la différence d'électronégativité des éléments chimiques de l'espèce concernée. La réponse attendue est **c) +I**. Afin de se rassurer que le choix du répondant ne relève pas du hasard, nous avons demandé à ce que ce choix puisse être justifié. La justification donnée par le répondant nous permettra de mieux analyser notre travail. La réponse à cette question sera prise en compte s'il est justifié.

Question 6 : le nombre d'oxydation de l'élément Flore (F) dans la molécule O_2F_2 est :

- a) +I
- b) -I
- c) +II
- d) Autre (*à préciser*)

Justifier votre choix :

Cette question a le même objectif que la précédente. Cependant, elle vise également à montrer la limite de la méthode logicomathématique qui demande d'attribuer préalablement le nombre d'oxydation de -II à l'élément Oxygène. Avec cette méthode le répondant choisirait une réponse fautive soit +I ou +II alors que l'élément Flore, étant plus électronégatif que l'élément Oxygène, ne peut pas avoir un nombre d'oxydation positif. La réponse attendue est **b) -I**. Si le répondant choisit la réponse attendue et justifie avec la répartition électronique suivant la différence d'électronégativité, on déduirait qu'il s'est approprié du concept de nombre d'oxydation.

Question 7 : Parmi les équations bilans suivantes, quelle est celle qui traduit une réaction d'oxydoréduction.

- a) $\text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6$
- b) $\text{NH}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}$
- c) $2\text{Cl}^- + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{ClO}^-$
- d) $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_3\text{O}^+$

Justifier votre choix :

Cette question a pour objectif de tester la capacité du répondant à mobiliser le concept de nombre d'oxydation (s'il a d'ailleurs compris le concept) pour résoudre un problème. Ces équations-bilans sont les mêmes qu'on peut retrouver dans les livres au programme de la classe.

Elles sont connues des apprenants, pas forcément comme équations traduisant les réactions d'oxydoréduction. Il est attendu du répondant de choisir une équation traduisant une réaction d'oxydoréduction et de justifier le choix. La justification attendue ici est de montrer que le nombre d'oxydation des éléments varient (diminue d'une part et augmente d'autre part) dans une équation-bilan. La réponse attendue est **a) ou c)** ou les deux. Ces deux équations traduisent chaque une réaction d'oxydoréduction. Il est demandé au répondant de ne choisir qu'une seule réponse. Sur le plan du savoir savant, le répondant doit choisir deux réponses ou bien signaler qu'il y en a deux. Il peut choisir deux réponses et justifier son choix en utilisant une proposition juste choisie. Si cela est fait, on déduirait non seulement que le répondant s'est approprié le concept de nombre d'oxydation mais qu'il est capable de le mobiliser dans pour résoudre un problème donné. Sur le plan didactique, la proposition **a)** pourrait être classé au premier vue comme une réaction d'hydrogénation de l'éthylène et va s'en passer pour examiner d'autres propositions. S'il choisit **c)** et donne une justification qui tient, on déduirait qu'il est capable de mobiliser le concept de nombre d'oxydation dans une situation problème. Ce qui est recherché dans cette question est voir comment le répondant utilise le concept de nombre d'oxydation pour résoudre un problème.

Question 8 : Déterminer le nombre d'oxydation de l'élément chimique Fer (**Fe**) dans la molécule **Fe₃O₄**.

Cette question a le même objectif que la question **5** et **question 6**. En plus de cet objectif, elle donne la liberté au répondant pour de montrer le raisonnement qui lui permet de déterminer le nombre d'oxydation d'un élément chimique dans un groupe atomique. A partir de la méthode logicomathématique, le répondant pourrait parvenir à la réponse qui n'est pas un nombre entier comme il est dit lors d'enseignement classique ; c'est donc une réponse fautive. Si le répondant utilise la répartition électronique pour déterminer le nombre d'oxydation il pourrait parvenir à la réponse telle que deux éléments Fe ont un nombre d'oxydation +III et un autre a +II, c'est la réponse juste à cette question.

3.6. Expérimentation

Notre expérimentation ou notre test est une séquence d'enseignement-apprentissage sur le concept de nombre d'oxydation par la simulation numérique comme mode de transposition didactique. La simulation numérique est une vidéo animée dans laquelle les symboles des éléments chimiques et des modèles sont utilisés pour mettre en évidence la répartition

électronique des électrons en sein d'un groupe atomique, répartition à travers laquelle les nombres d'oxydation de différents atomes que constitue le groupe atomique seront déterminés. Les apprenants observent la simulation numérique et après cette observation, il leur a été demandé de formuler, chacun, une définition du concept de nombre d'oxydation d'un élément chimique et une méthode de détermination de ce dernier.

3.6.1. Outils didactiques utilisés

Pour cette séance d'enseignement-apprentissage, les matériels suivants sont nécessaires :

- Un vidéoprojecteur : il va permettre de projeter la vidéo de la simulation numérique afin que cela puisse être visuellement accessible aux apprenants.
- Le tableau de projection : il servira de support pour la projection vidéo afin de se rassurer de la bonne qualité de la vidéo.
- Un ordinateur : il servira de lecteur vidéo.
- Les papiers formats, stylos et craie : ils ont servi de prise de notes et d'explications supplémentaires.

Il faut signaler que le vidéoprojecteur ainsi que le tableau de projection prévu n'ont pas été utilisés finalement par manque d'énergie électrique devant alimenter le vidéoprojecteur. Nous avons dû par compromis utiliser cinq ordinateurs portatifs et un téléphone Android 10 de 2.00GB de RAM, de CPU 2.0Ghz et dimension d'écran 720 x 1600 pour faire visualiser la simulation pour des apprenants.

3.6.2. Description de la vidéo de simulation

La vidéo de simulation numérique qu'on a exploitée dans notre test n'est pas produite par nous. Mais, elle répond exactement à nos attentes. Elle a été téléchargée dans la page accessible par ce lien : https://uel.inisciel.fr/chimie/solutaque/solutaque_ch06/co/apprendre_ch6_04.html. Cependant, elle a subi une modification non négligeable. Suite à téléchargement de la vidéo, elle était uniquement visuelle, elle n'avait pas de son ; nous y avons ajouté pour la rendre audiovisuelle. L'audio ajouté est une lecture des textes explicatifs qui accompagnent la vidéo et qui sont inscrits dans le fond de celle-ci. Nous avons ajouté à ces textes des commentaires que nous n'avons pas fait apparaître dans le fond de la vidéo. Nous avons également modifié la couleur du fond de cette vidéo pour la rendre plus claire. Sa vitesse également a été réduite afin de la rendre mieux perceptible par les apprenants. Cette réduction de la vitesse a eu comme conséquence l'augmentation de la durée de la vidéo qui est passée de 6 minutes 27 secondes à 20 minutes 46 secondes. La luminosité également a été réajustée à la hausse dans l'objectif de

rendre mieux visibles les simulations. Nous avons fait ces modifications à l'aide de l'application YouCut-Video Editor que nous avons installé dans un téléphone Android de version 10 et de modèle TECHNO KC8 à partir de Google Play Store.

La vidéo montre par simulation comment les liaisons dans des espèces chimiques considérées se brisent et que les électrons se répartissent suivant l'électronégativité d'un atome et celle des atomes voisins. Dans cette simulation, on fait usage des symboles conventionnels pour représenter les éléments chimiques (**H** = hydrogène, **O** = oxygène, **S** = soufre, ...), les traits (–) sont utilisés pour modéliser les doublets de liaison liants et les doublets de liaison non liants et les points (.) pour représenter les électrons. Six groupes atomiques (molécules, ions) sont utilisés dans cette vidéo, ce sont : dioxygène (O_2), eau (H_2O) ; peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), ion sulfate (SO_4^{2-}) et ion thiosulfate ($S_2O_3^{2-}$). Après la répartition, le nombre d'oxydation de chaque atome est déterminé et écrit en exposant du symbole de l'élément chimique concerné.

Voici ci-dessous quelques clichés de la vidéo de la simulation numérique montrant comment se détermine le nombre d'oxydation de l'élément hydrogène (H) et celui d'oxygène (O) dans la molécule de peroxyde d'hydrogène :

The figure consists of four screenshots arranged in a 2x2 grid, connected by arrows indicating a sequence. Each screenshot shows a digital interface with a question, a chemical formula, and a list of options.

- Top-left screenshot:** Question: "Quels sont les nombres d'oxydation des différents atomes de la molécule de peroxyde d'hydrogène ?". Formula: H_2O_2 . Options: dioxygène, eau, peroxyde d'hydrogène, ion sulfate, ion thiosulfate, éthanol.
- Top-right screenshot:** Question: "Les électronégativités selon Pauling des deux éléments présents sont pour :". Formula: $H-\bar{O}-\bar{O}-H$. Values: O : 3,44, H : 2,20. Options: dioxygène, eau, peroxyde d'hydrogène, ion sulfate, ion thiosulfate, éthanol.
- Bottom-right screenshot:** Question: "En revanche, pour la liaison O - O, il n'y a pas de différence d'électronégativité entre les deux atomes O et le doublet se partage entre les deux atomes O". Formula: $H \bar{O} - \bar{O} H$. Options: dioxygène, eau, peroxyde d'hydrogène, ion sulfate, ion thiosulfate, éthanol.
- Bottom-left screenshot:** Question: "Le nombre d'oxydation de l'oxygène vaut donc :". Formula: $H \bar{O}^{-1} \cdot \bar{O}^{-1} H$. Value: n. o. (O) = -1. Options: dioxygène, eau, peroxyde d'hydrogène, ion sulfate, ion thiosulfate, éthanol.

FIGURE 6: QUELQUES CLICHES DE LA VIDÉO DE SIMULATION NUMÉRIQUE

3.6.3. Description de la séquence d'enseignement-apprentissage

Cette séquence d'enseignement-apprentissage qui constitue d'ailleurs notre test a débuté exactement à 9 heures 05 minutes et a pris fin à 10 heures 03 minutes, soit une durée de 58 minutes au lieu de 55 minutes comme nous l'avons estimée préalablement. Soit avec 03 minutes supplémentaires. Ce temps supplémentaire est dû aux multiples interpellations individuelles des apprenants qui essayaient d'utiliser les savoirs acquis de la vidéo pour déterminer le nombre d'oxydation des éléments chimiques dans une molécule ou dans un ion. Nous n'avons malheureusement répondu à toutes les sollicitations. Nous avons répondu à trois de ces sollicitations suivant leurs pertinences et nous en avons présenté à tous les apprenants. Cette séquence d'enseignement-apprentissage, notre test, s'est déroulée en salle de classe de première D₂ du lycée de Ngoa-Ekelle.

Après la présentation du contexte d'intervention (contexte de la recherche), nous avons jugé pertinent de signaler aux apprenants que le contenu de l'enseignement qu'on soumet à leur

appropriation n'est pas celle qu'on retrouve dans les livres au programme mais que ce dernier vise le même objectif qui est de comprendre le concept de nombre d'oxydation.

Après cette précision, nous avons déroulé le contenu d'enseignement trois étapes dont la vérification des prérequis, la visualisation de la vidéo de simulation (contenu d'enseignement-apprentissage) et l'activité de consolidation des acquis.

3.6.3.i. Vérification des prérequis

Pour comprendre le concept de nombre d'oxydation à partir la répartition électronique entre les atomes d'un groupe atomique, il est nécessaire de se rassurer que les apprenants aient encore une connaissance appropriée sur la notion de configuration électronique des atomes et sur la notion de représentation de Lewis des atomes et groupes atomiques. Il faut rappeler que la configuration électronique et la configuration de Lewis des atomes ou des groupes atomiques sont dans le programme d'enseignement-apprentissage de la classe de seconde C. Un rappel permettra aux apprenants de faire une mise à jour de leurs connaissances sur ces notions. Il en est de même pour la notion d'électronégativité. C'est à la fois une vérification et un rappel. Pour le faire, nous avons utilisé la craie et le tableau table de la salle.

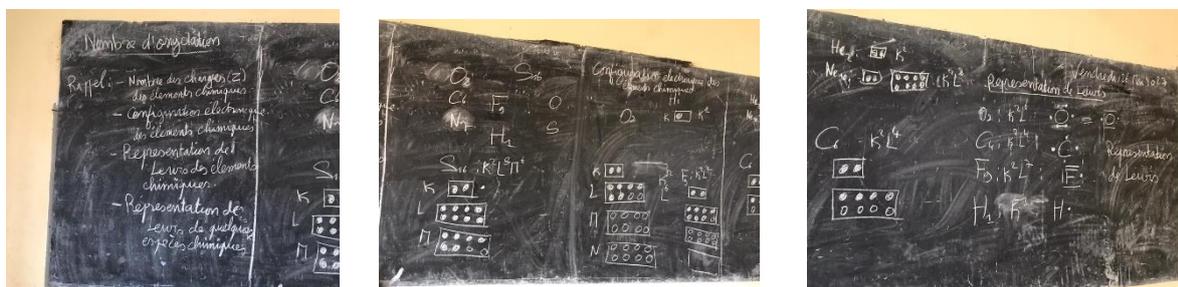


FIGURE 7: RAPPEL DES PRÉREQUIS

Nous sommes partis par rappeler que chaque élément chimique possède un nombre connu d'électrons appelé nombre de charge. Certains élèves confondaient le nombre de charge à la masse molaire moléculaire des éléments chimiques. Une confusion que nous avons pu lever. Puis nous avons présenté pour quelques éléments chimiques leur configuration électronique et ensuite leur représentation de Lewis, tout en rappelant que cette représentation de Lewis s'intéresse uniquement aux électrons de la dernière couche appelée couche externe ou périphérique et que les éléments d'une même colonne ont un même nombre d'électrons dans leurs périphériques. Nous avons rappelé également que l'électronégativité est la capacité d'un élément chimique à attirer vers les électrons des éléments voisins au sein d'un groupe atomique ; et que, comme il a été dit en classe de Seconde C, l'électronégativité croit de la droite vers la

gauche (dans une ligne) et du bas vers le haut (dans une colonne) dans le tableau de classification périodique des éléments chimiques. Toutefois, nous avons souligné qu'il y'a des exceptions à cette règle. Après ce rappel de prérequis, nous avons lancé la vidéo de simulation.

3.6.3.ii. Vidéo de simulation

Ne pouvant plus faire usage du vidéoprojecteur, nous avons réuni les élèves par groupes devant les ordinateurs. Il y'avait cinq ordinateurs et un téléphone Android comme dit plus haut. Il y'avait environ six élèves par ordinateur.



FIGURE 8: DISPOSITION DES ÉLÈVES DANS LA SALLE DE CLASSE LORS DE L'EXPÉRIMENTATION

La vidéo est lancée au même moment pour avoir un même audio dans la salle. Elle a pu captiver toute l'attention des élèves qui étaient restés calmes et concentrés. La plupart prenaient des notes. Nous les avons laissé visualiser librement sans intervenir. A la fin de la vidéo, la majorité d'élèves essayaient d'utiliser cette méthode de la vidéo pour déterminer le nombre d'oxydation des éléments dans les espèces chimiques de leur choix. Nombreux ont pu déterminer avec leur exemple et ont manifesté le sentiment d'avoir bien compris l'enseignement de la simulation. D'autres avaient encore besoin d'une explication supplémentaire pour comprendre. Nous avons donné une explication supplémentaire au tableau en utilisant trois espèces chimiques proposées par les élèves. Après cette explication supplémentaire, nous sommes passés à la récapitulation afin de consolider les acquis des apprenants.

3.6.3.iii. Activité de consolidation

Après l'observation, chaque apprenant a normalement une conception sur le concept de nombre d'oxydation ; l'enseignant (le more knowledgeable others) doit se rassurer que cette conception des apprenants sur le concept soit celle scientifique et acceptable. Il doit se rassurer que la définition et la méthode de détermination du nombre d'oxydation d'un atome soient celles attendues à la suite de la séquence d'enseignement-apprentissage. Pour cela, nous avons

demandé aux élèves de donner une définition de nombre d'oxydation. Nous avons retenu trois définitions de trois élèves :

Réponse 1. : « Le nombre d'oxydation est la charge fictive portée par chaque atome si toutes les liaisons étaient totalement ioniques. » ;

Réponse 2. : « Le nombre d'oxydation est la différence de nombre d'électrons à l'état fondamental de l'atome et de nombre d'électrons dans son état de la molécule. » ;

Réponse 3. : « Le nombre d'oxydation est le nombre d'électrons qu'a attiré ou donné un atome quand la liaison ionique se casse. »

Réponse 4. : « Le nombre d'oxydation est écrit en chiffre romain au-dessus de l'atome. »

Ces définitions données ne sont pas loin de celle attendue et d'ailleurs elles désignent plus ou moins le concept de nombre d'oxydation mise à part la **réponse 4** qui met l'accent beaucoup plus sur l'écriture romaine de ce concept. À l'analyse de leurs propositions de définition, on peut constater que celles-ci sont tirées de la vidéo de simulation. Certains ont repris totalement ou partiellement les écrits explicatifs de la vidéo ou les ont reformulés et d'autre ont formulé une compréhension du concept selon la vidéo. Nous avons validé : la **réponse 1** en la reformulant comme « la charge fictive portée par un atome à la suite de la rupture d'une liaison ionique au sein d'une espèce chimique. » ; la **réponse 2** en la reformulant comme « différence entre le nombre d'électrons d'un atome à son état fondamental et son nombre d'électrons à la suite d'une répartition électronique engagé par la destruction d'une liaison considérée ionique. » ; la **réponse 3** en la reformulant comme « nombre d'électrons gagné ou perdus par un atome à la suite d'une répartition électronique d'une liaison supposée ionique. ». Pour commenter la **réponse 4** que nous avons d'ailleurs invalidée, nous avons fait comprendre aux apprenants le concept de nombre d'oxydation ne peut se définir par chiffre romain car celui-ci n'est qu'une convention qui peut changer à tout moment alors que le concept dans sa compréhension ne changera jamais. Au final, nous n'avons pas formulé une définition de nombre d'oxydation de crainte que les apprenants ne la prennent comme la formule absolue pour définir ce concept ; nous voulions juste nous rassurer que la conception (la compréhension) de ces apprenants sur le nombre d'oxydation soit juste.

Après cette vérification de conception des apprenants sur le nombre d'oxydation, nous avons mis ce concept en liaison avec d'autre concept d'oxydoréduction tels qu'oxydation, réduction, oxydant, réducteur. A partir de deux équations-bilan traduisant une réaction d'oxydoréduction l'une en solution aqueuse et l'autre par voie sèche, nous leur avons fait constater que le nombre

d'oxydation varie autour d'une réaction chimique, qu'il diminue dans une réduction et augmente dans une oxydation. Par la même occasion, nous avons utilisé ce concept de nombre d'oxydation pour équilibrer une équation-bilan ou pour vérifier celle-ci traduit une réaction d'oxydoréduction.

Enfin, pour se conformer à l'exigence de pratique enseignante, nous avons clôturé cette séquence d'enseignement-apprentissage par une évaluation formative sous forme de questions-réponses de façon orale. Cette évaluation formative permet de faire un retour éventuel d'explication sur le concept afin d'éviter toute ambiguïté à la compréhension des apprenants.

Notre test s'est déroulé dans un climat agréable avec la participation active des apprenants. Pour réussir cette séance d'enseignement-apprentissage, nous avons élaboré à l'avance une fiche de leçon présentée dans le paragraphe suivant.

3.6.4. Fiche de leçon

La fiche de leçon, appelée encore fiche pédagogique ou didactique de l'enseignant, est un document guide d'action pour l'enseignant. Elle lui permet d'avoir une idée claire sur le déroulement (les étapes, les activités, rôle de l'enseignant et de l'apprenant et le timing) de la leçon. Celle élaborée dans le cadre de notre séance expérimentale est la suivante :

Module	Oxydoréduction		
Titre de la leçon	Le nombre d'oxydation		
Compétences visées	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Définir nombre d'oxydation ; ➤ Déterminer le nombre d'oxydation de chaque élément chimique dans un groupe atomique ; ➤ Utiliser le nombre d'oxydation pour reconnaître une réaction d'oxydoréduction ; ➤ Définir oxydation, réduction, oxydant, réducteur suivant le concept de nombre d'oxydation. 		
Étapes (durée)	Activités		Contenu
	De l'enseignant	Des élèves	

<p align="center">Vérification des prérequis (15min)</p>		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rappelle des notions dont on vérifie la connaissance ; ➤ Pose des questions sur ces notions ; ➤ Reporte les réponses justes venant des élèves au tableau ; ➤ Corrige les réponses erronées venant des élèves ; ➤ Répond aux questions venant des élèves. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Répondent aux différentes questions posées ; ➤ Prennent des notes ; ➤ Posent des questions ; ➤ Interagissent entre eux sur les questions posées et sur les réponses données. 	<p>Rappel sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Le nombre de charge des éléments ; ➤ Sur la configuration de quelques éléments chimiques (C, B, N, O, F, S, ...) ➤ Sur la configuration de Lewis des éléments et espèces chimiques ; ➤ Sur l'électronégativité. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tableau, ➤ Craie, ➤ Stylos, ➤ Bloc-notes.
<p>Contenu de la leçon (38min)</p>	<p align="center">Vidéo de simulation (21min)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Organise les élèves en groupes ➤ Lance la vidéo de simulation ➤ Observe les élèves. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Visualisent la simulation numérique dans la vidéo ; ➤ Prennent des notes. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Simulation numérique sur la détermination de nombre d'oxydation d'un élément chimique dans un groupe atomique. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ordinateurs portables ➤ Téléphone Android ; ➤ Stylos ; ➤ bloc-notes.
	<p align="center">Activités de consolidation (17min)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Commente la simulation ; ➤ Questionne les élèves ; ➤ Répond aux questions des élèves ; 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Posent des questions à l'enseignant ; ➤ Répondent aux questions de l'enseignant ; 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Présenter les concepts d'oxydoréduction (oxydation, réduction, oxydation, ...) ➤ suivant le concept 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tableau ; ➤ Craie ;

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Faire les rapports entre les nombre d'oxydation et l'oxydoréduction, oxydation, réducteur, ... ➤ Valide les réponses des élèves et présenter d'autres exemples. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Prennent les notes ; ➤ Essayer déterminer les nombres d'oxydation des éléments chimiques dans un groupe atonique. 	<p>de nombre d'oxydation en revenant sur le modèle électronique afin de montrer la cohérence entre les deux modèles ;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Montrer comment utiliser le nombre d'oxydation pour monter d'une équation-bilan traduit une réaction d'oxydoréduction et pour équilibrer une équation-bilan. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Stylos ; ➤ Bloc-notes.
<p>Evaluation formative (5min)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Interroge les élèves. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Répondent aux questions. 	<p>Questions-réponses.</p>	<p>////////</p>

CHAPITRE 4 : PRÉSENTATION ET ANALYSE DE RÉSULTATS

Dans ce chapitre, nous présentons d'une manière détaillée sous forme de tableaux et d'histogrammes les résultats obtenus lors du pré-test et du post-test. A la suite de cette présentation, nous procéderons à l'analyse de ces résultats (question par question).

4.1. Présentation des résultats

Le dépouillement de nos questionnaires nous a donné les résultats ci-après. Pour les consigner dans le tableau, nous avons attribué un score de 0 et 1. Le chiffre 0 désigne la réponse fautive et le chiffre 1 désigne la réponse juste (réponse attendue).

4.1.1. Résultat du pré-test (Groupe témoin)

Le dépouillement des questionnaires du groupe témoin a donné les résultats suivants consignés dans le tableau et dans l'histogramme.

TABLEAU I: RÉCAPITULATIF DES RÉSULTATS DU PRÉ-TEST

Questions / réponses	Q.1	Q.2	Q.3	Q.4	Q.5	Q.6	Q.7	Q.8
Réponses fausses (0)	15	9	11	23	11	23	19	25
Pourcentage des (0)	60%	36%	44%	92%	44%	92%	76%	100%
Réponses justes (1)	10	16	14	2	14	2	6	0
Pourcentage des (1)	40%	64%	56%	08%	56%	08%	24%	00%

TABLEAU II: DÉPOUILLEMENT DU PRÉ-TEST

ET	Sexe	Age	Iere	Q.1	Q.2	Q.3	Q.4	Q.5	Q.6	Q.7	Q.8
1	M	15	D3	0	1	1	0	1	0	0	0
2	M	19	D1	0	1	1	0	0	0	0	0
3	F	18	C	1	0	1	0	0	0	0	0
4	F		D3	0	1	0	0	1	0	0	0
5	F		D4	0	1	1	0	1	0	0	0
6	F	15	D3	0	1	0	0	1	0	0	0
7	F	16	D3	0	1	0	0	1	0	0	0
8	F	18	D3	0	1	0	0	1	0	0	0
9	M	15	D3	0	1	1	0	1	0	1	0
10	M	17	D3	0	1	1	1	1	0	1	0
11	M	16	D3	1	0	0	0	1	0	1	0
12	M	14	C	0	1	1	0	1	0	0	0
13	M	18	D3	1	0	0	0	0	0	1	0
14	F	17	D4	1	0	0	0	0	0	0	0
15	F	16	C	1	0	1	0	0	0	0	0
16	M	18	D1	0	1	1	0	0	0	0	0
17	M	15	C	1	1	1	0	0	1	0	0
18	F	17	D3	0	0	0	0	0	1	0	0
19	M		D1	0	1	1		1	0	0	0
20	F		D3	1	0	0	0	0	0	0	0
21	F	16	D3	0	1	0	0	1	0	1	0
22	F	18	D3	1	0	0	0	0	0	0	0
23	F		D3	1	1	1	0	0	0	1	0
24	M	17	D1	1	1	1	0	1	0	0	0
25	M	18	D4	0	0	1	1	1	0	0	0

Source : enquête de terrain de 2023

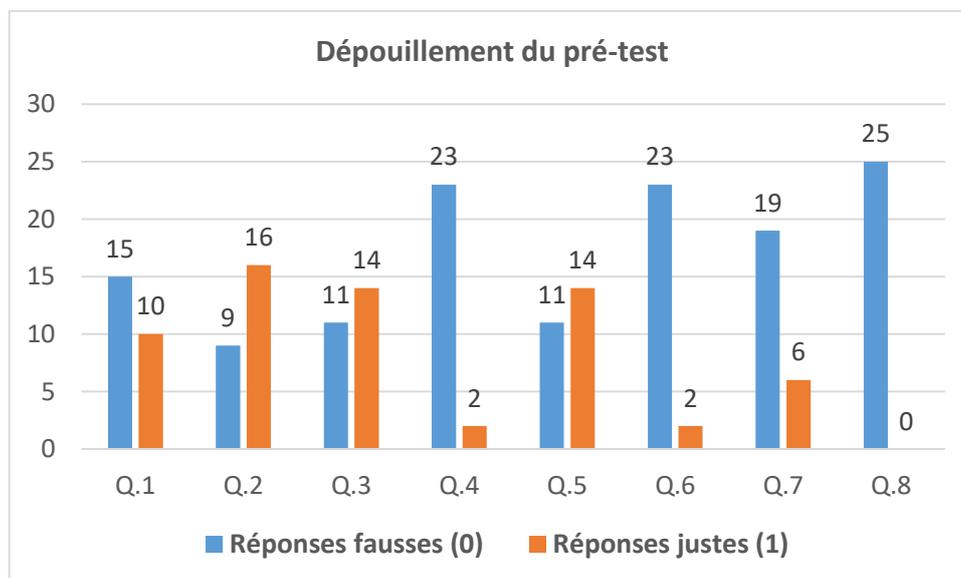


FIGURE 9: RÉSULTAT DU GROUPE TÉMOIN

4.1.2. Résultats du post-test (Groupe expérimental)

TABLEAU III: RÉCAPITULATIF DES RÉSULTATS DU POST-TEST

Questions / réponses	Q.1	Q.2	Q.3	Q.4	Q.5	Q.6	Q.7	Q.8
Réponses fausses (0)	11	5	6	7	5	6	13	11
Pourcentage des (0)	44%		24%	28%	2%	24%	52%	44%
Réponses justes (1)	14	20	19	18	20	19	12	14
Pourcentage des (1)	56%		76%	72%	98%	76%	48%	56%

TABLEAU IV: DÉPOUILLEMENT DU POST-TEST (GROUPE EXPÉRIMENTAL)

EE	Sexe	Age	1 ^{ère}	Q.1	Q.2	Q.3	Q.4	Q.5	Q.6	Q.7	Q.8
	M	17	D2	1	1	0	0	1	1	0	1
2	F	15	D2	1	1	1	1	1	1	1	1
3	M	16	D2	1	0	1	1	1	1	0	1
4	F	16	D2	1	1	1	1	1	0	1	0
5	M	17	D2	0	1	0	1	1	1	1	1
6	F	17	D2	0	1	1	0	1	1	1	0
7	F	19	D2	0	1	1	1	1	0	0	0
8	F	18	D2	0	1	1	1	0	0	0	0
9	M		D2	0	1	0	1	1	1	1	0
10	F	16	D2	1	1	1	1	1	1	1	1
11	F	17	D2	1	1	1	1	1	1	0	0
12	M	16	D2	1	1	1	1	1	1	1	0
13	M		D2	0	1	1	1	1	1	0	1
14	M	19	D2	0	1	1	0	0	1	1	0
15	M	15	D2	1	1	1	0	1	1	0	1
16	F	17	D2	0	1	1	1	0	1	0	1
17	M		D2	0	1	1	1	1	1	0	1
18	F		D2	1	0	1	1	1	1	0	1
19	F	20	D2	1	1	0	1	1	1	0	1
20	M	18	D2	1	1	0	0	0	0	1	1
21	F		D2	1	0	1	1	1	1	0	0
22	M	20	D2	0	1	0	1	0	0	0	0
23	M	17	D2	0	1	1	0	1	1	1	1
24	M	18	D2	1	0	1	1	1	1	1	1
25	F	18	D2	1	0	1	0	1	0	1	0

Source : enquête de terrain de 2023

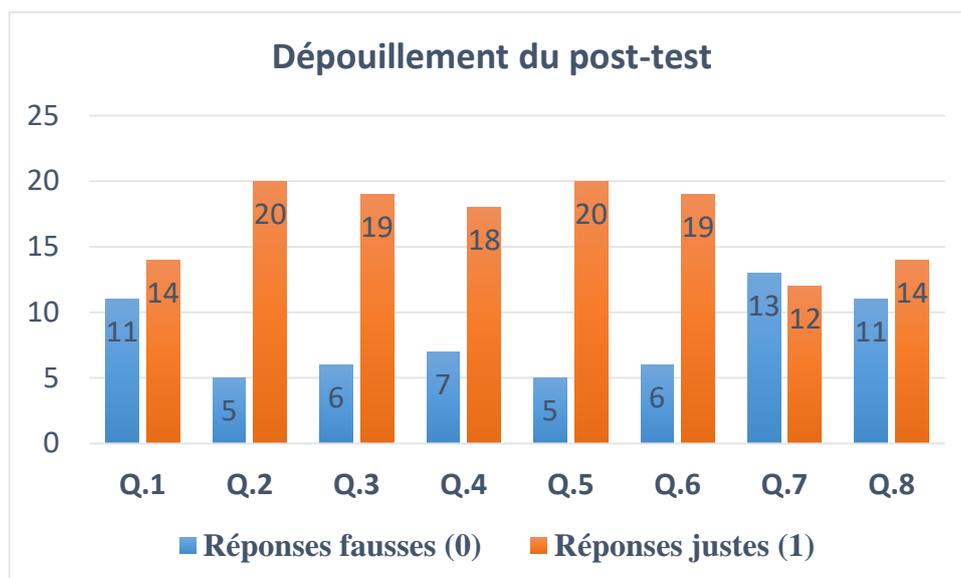


FIGURE 10: RÉSULTAT DU GROUPE EXPÉRIMENTAL

4.1.3. Croisement des résultats du pré-test et post-test

TABLEAU V: RÉCAPITULATIF DES RÉSULTATS DU PRÉ-TEST ET DU POST-TEST

Questions	Groupe	Réponses fausses (0)	Réponses justes (1)
Q.1	Groupe témoin	15	10
	Groupe expérimental	11	14
Q.2	Groupe témoin	9	16
	Groupe expérimental	5	20
Q.3	Groupe témoin	11	14
	Groupe expérimental	6	19
Q.4	Groupe témoin	23	2
	Groupe expérimental	7	18
Q.5	Groupe témoin	11	14
	Groupe expérimental	5	20
Q.6	Groupe témoin	23	2
	Groupe expérimental	6	19
Q.7	Groupe témoin	19	6
	Groupe expérimental	13	12
Q.8	Groupe témoin	25	0
	Groupe expérimental	11	14

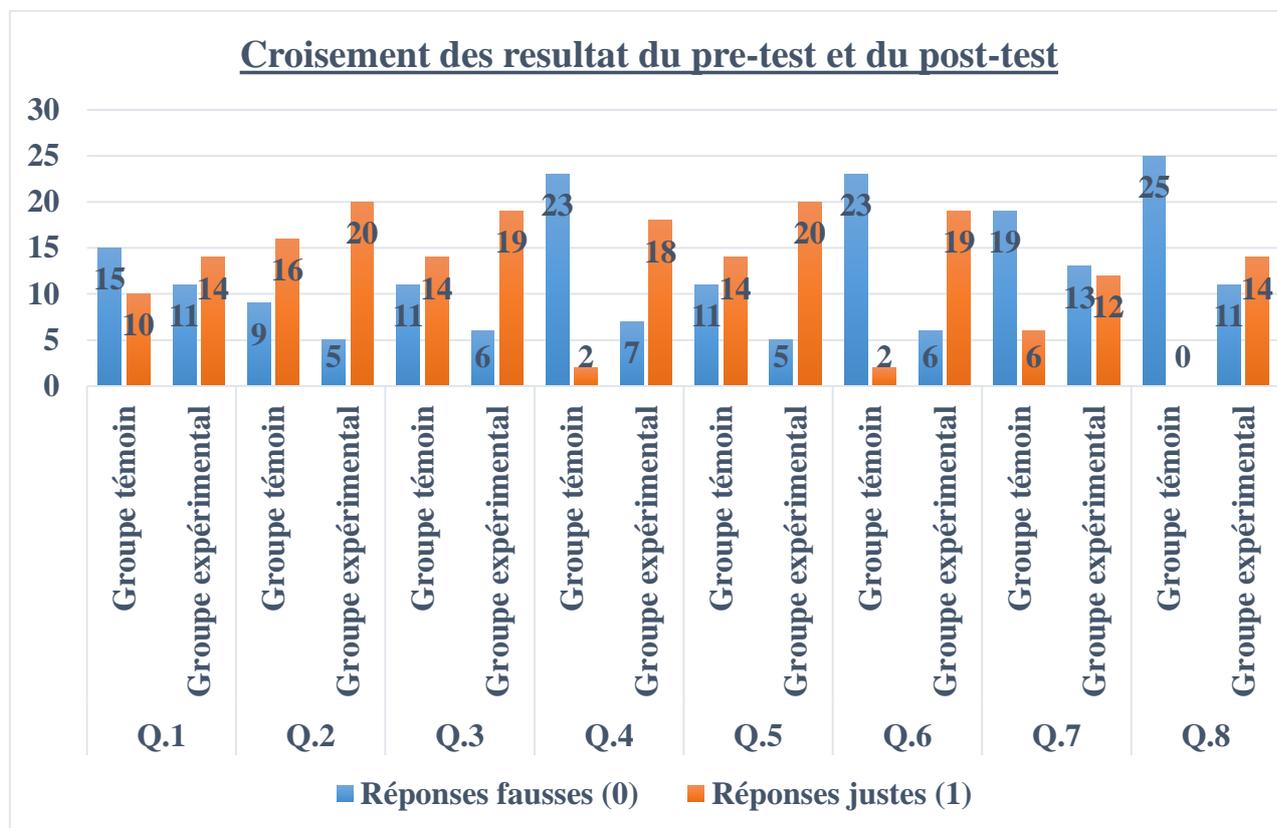


FIGURE 11: RÉSULTATS DU PRÉ-TEST ET DU POST-TEST

4.2. Analyse des résultats

Notre questionnaire, comme nous l'avons signalé plus haut, est subdivisé en trois objectifs qui sont : vérifier les connaissances des répondants sur les concepts de base de l'oxydoréduction (question 1, question 2 et question 3), recueillir les conceptions des répondants sur le concept de nombre d'oxydation (question 4, question 5, question 6 et question 8) et tester la capacité des répondants à pouvoir mobiliser le concept de nombre d'oxydation pour résoudre un problème (question 7). Nous analyserons les résultats par question puis une synthèse de de l'analyse suivant les trois objectif en faisant bien évidemment une comparaison entre le groupe témoin et le groupe expérimental.

A la question 1, il est demandé aux répondants de définir oxydoréduction.

Au pré-test, 40% des répondants ont choisi la réponse attendue ; ils définissent alors l'oxydoréduction comme « **c'est une réaction chimique au cours de laquelle il y'a transfert d'électrons entre deux éléments chimiques.** » ; 4% des répondants ont choisi la proposition

selon laquelle « **c'est une réaction au cours de laquelle il y'a transfert de protons entre deux éléments chimiques.** » ; 4% d'autres ont choisi la proposition selon laquelle « **c'est une réaction chimique au cours de laquelle le nombre d'oxydation d'un seul élément chimique diminue** » ; 52% ont choisi la proposition autre et ont différemment défini oxydoréduction comme : « **c'est une réaction chimique au cours de laquelle il y'a simultanément l'oxydation du réducteur et réduction de l'oxydant** », « **c'est une réaction au cours de laquelle il y'a simultanément perte et gain d'électrons** » et « **c'est une réaction chimique au cours de laquelle il y'a simultanément l'oxydation et réduction** ».

Le pourcentage des répondants n'atteint pas la moyenne ; ce qui peut déjà nous permettre de dire que les répondants ont des difficultés à comprendre ce que ce l'oxydoréduction. De plus, le fait que 52% répondants donnent une proposition acceptable en délaissant celle attendue et juste (qu'on retrouve d'ailleurs dans le contenu d'enseignement classique) prouvent davantage que les apprenants n'ont pas bien saisi le sens de la notion d'oxydoréduction. Il se semble qu'ils s'intéressent seulement à la mémorisation de l'énoncé de définition de la notion sans toutefois saisir son sens.

Au post-test, 56% des répondants ont choisi la réponse attendue ; 28% ont choisi la proposition selon laquelle « **c'est une réaction au cours de laquelle un élément chimique perd un ou plusieurs électrons** » ; de 16% ont choisi la proposition autre en proposant des définitions telles que « **c'est une réaction au cours de laquelle il y'a oxydation du réducteur et réduction de l'oxydant** », « **c'est une réaction chimique au cours de laquelle il y'a transfert d'électrons dont il y'a réduction de l'oxydant et oxydation du réducteur** » et « **c'est une réaction chimique au cours de laquelle il y'a transfert du nombre d'oxydation entre deux espèces différentes** ».

Le pourcentage de répondants qui ont choisi la réponse attendue dépasse la moyenne ; ce qui nous permet de dire que la majorité des apprenant du groupe expérimental ont saisi le sens de la notion d'oxydoréduction. Mais le pourcentage (44%) de réponse fausse enregistrée est considération et fait état de lieu de ce que les apprenants font montre des difficultés à l'appropriation de cette notion.

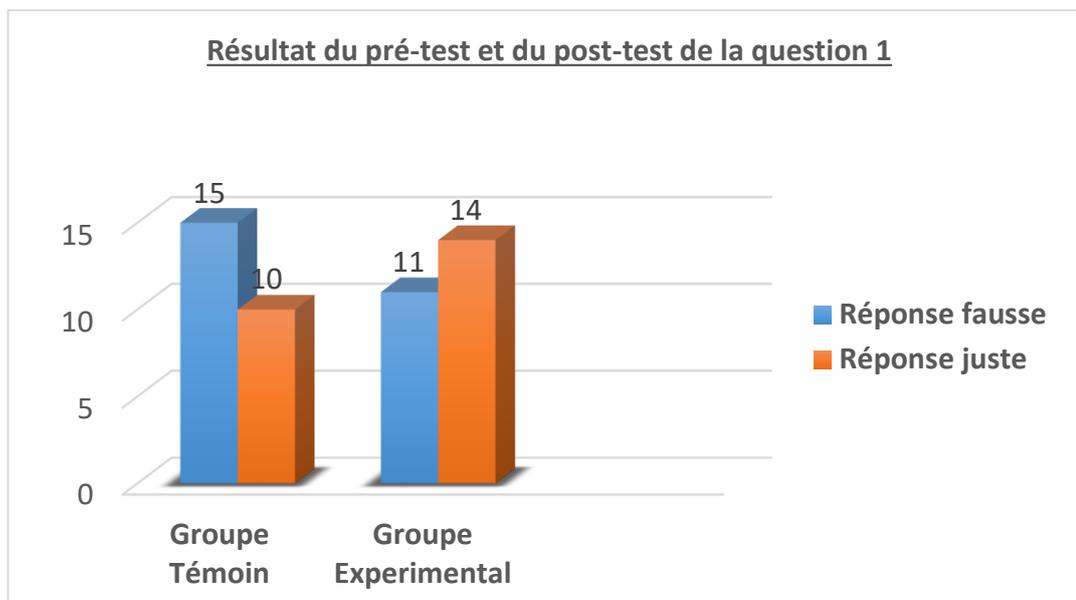


FIGURE 12: RÉSULTAT DU GROUPE TÉMOIN ET DU GROUPE EXPÉRIMENTAL POUR LA QUESTION 1.

En comparant les résultats du groupe témoin (pré-test) et ceux du groupe expérimental, on peut noter une nette amélioration auprès du groupe expérimental.

À la question 2, on est demandé aux répondants de définir oxydation.

Au pré-test, 64% de répondants ont choisi la réponse attendue où l'oxydation est définie comme « **réaction chimique au cours de laquelle un élément chimique perd un ou plusieurs électrons** » ; 24% des répondants ont choisi la proposition « **c'est une réaction chimique au cours de laquelle un élément chimique gagne un ou plusieurs électrons.** » ; 4% ont choisi la proposition « **c'est une réaction chimique au cours de laquelle le nombre d'oxydation d'un élément chimique diminue** » ; 4% autres ont choisi la proposition « **réaction chimique au cours de laquelle un élément chimique gagne ou perd un ou plusieurs électrons.** » et 4% autres ont choisi la proposition « **réaction chimique au cours de laquelle un élément chimique il y'a l'oxydant et le réducteur.** ».

Bien que le pourcentage des répondants qui ont choisi la réponse attendue dépasse la moyenne, on peut noter au regard des différentes d'autres réponses données par d'autres répondants que la difficulté d'apprentissage de ce concept reste encore considérable.

Au post-test, 80% des répondants ont choisi la réponse attendue ; 20% ont choisi la proposition autre et ont donné des définitions différentes telles que « **c'est une réaction chimique au cours**

de laquelle il y'a gain d'électrons. » et « c'est une réaction chimique au cours de laquelle le nombre d'oxydation d'un élément augmente. ».

Le pourcentage de réponse attendue est élevé ici, ce qui nous laisse comprendre que les répondants comprennent mieux le concept d'oxydation. En plus, certains répondants ont donné une définition juste parmi les définitions données en précision à la proposition e) **Autre**.

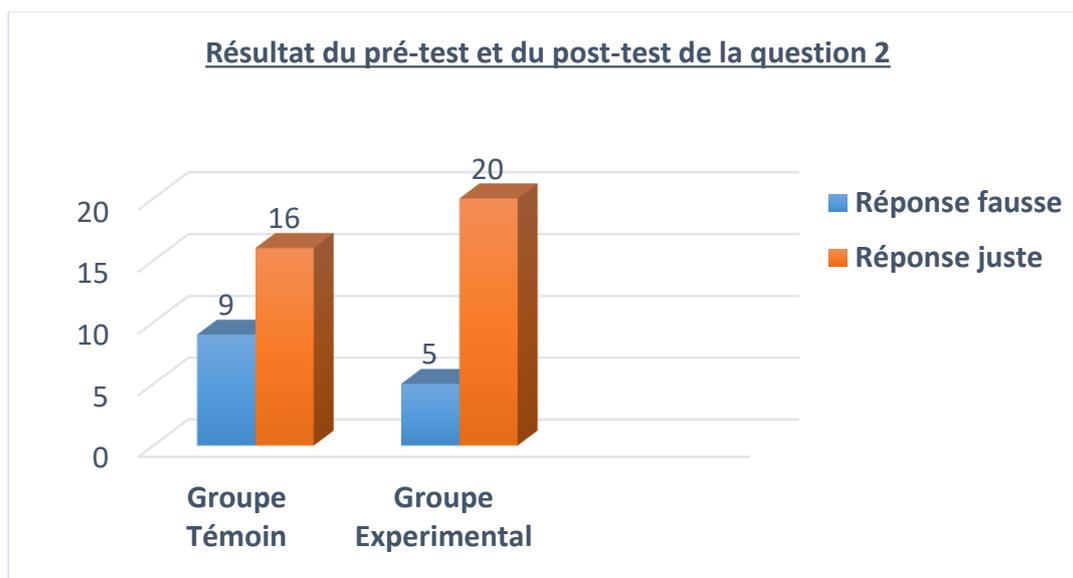


FIGURE 13: RÉSULTAT DU GROUPE TÉMOIN ET DU GROUPE EXPÉRIMENTAL POUR LA QUESTION 2.

En comparant le résultat du groupe témoin à celui du groupe expérimental, on constate les pourcentages de réponse juste dans les deux groupes dépassent la moyenne. Toutefois, il est à noter une amélioration du côté du groupe expérimental. Cette amélioration peut être due à la brève révision faite lors du test. Tout compte fait, les résultats nous permettent de dire que les apprenants ont une maîtrise satisfaisant du concept d'oxydation.

À la question 3, il est demandé aux répondants de définir réduction.

Au pré-test, 56% des répondants ont choisi la réponse attendue qui est définie réduction comme « **Une réaction chimique au cours de laquelle le nombre d'oxydation d'un élément chimique diminue.** ». 28% des répondants ont choisi la proposition telle « **Réaction chimique au cours de laquelle un élément chimique perd un ou plusieurs électrons** » ; 16% ont choisi la proposition autre et ont donné la définition telle « **c'est une réaction chimique au cours de laquelle un élément chimique gagne un ou plusieurs électrons.** »

Le pourcentage de réponse attendue dépasse la moyenne. Déplus, 16% ont donné la définition non proposé mais juste. Ce qui nous permet de dire que le concept de réduction est connu des répondants. Cependant, les 28% ont défini réduction en terme de perte d'électrons, ce nous fait penser aux difficultés liées au langage scientifique qui ne correspond toujours pas au langage courant.

Au post-test, 76% des répondants ont choisi la réponse attendue. 12% des répondants ont choisi la proposition d'ailleurs fausse qui définit la réduction en terme de perte d'électrons et 12% autres ont défini la réduction en terme de gain d'électrons, ce qui est juste d'ailleurs. Donc en réalité 88% de répondants ont donné des réponses justes. Les 12% de répondants qui ont défini réduction suivant le modèle électronique doivent avoir de difficultés d'interprétation de ce concept dans suivant le modèle de nombre d'oxydation.

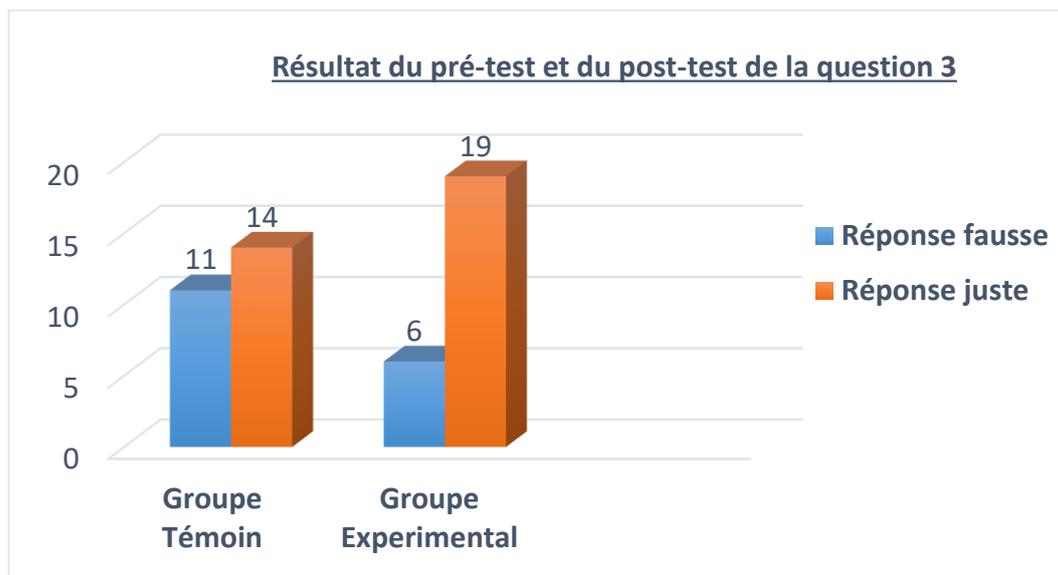


FIGURE 14: RÉSULTAT DU GROUPE TÉMOIN ET DU GROUPE EXPÉRIMENTAL POUR LA QUESTION 3.

Dans le pré-test et comme dans le post-test, les pourcentages de réponse attendue sont satisfaisants bien celui du post-test soit plus élevé. Les différentes réponses proposées par les répondants dans les deux cas nous révèle que les difficultés auxquelles font faces les apprenants sont d'origine langagière du fait de l'interférence du sens commun au sens de la chimique comme l'a indiqué (Mohamed SOUDANI D. C.-H., Difficultés d'apprentissage du concept d'oxydoréduction, 1996, p. 12). Dans le langage commun, la réduction traduit une perte ; si ce langage commun suivant le modèle dénombre d'oxydation est identique, ce n'est pas le cas suivant le modèle de transfert d'électrons. Cette disconvenance langagière fait obstacle à

l'apprenant qui, pour se rassurer d'être capable de donner une réponse juste à une question de définition d'un concept d'oxydoréduction, se replie sur un seul modèle en délaissant l'autre et créant ainsi une source de difficulté comme l'ont indiqué (Mohamed SOUDANI D. C.-H., Difficultés d'apprentissage du concept d'oxydoréduction, 1996, p. 161) et (Kenneth Adu-Gyamfi, 2018). Cela se montre par le fait que plusieurs répondants (que ce soit dans le pré-test ou dans le post-test) délaissent une proposition juste (suivant le modèle de transfert d'électrons) pour proposer une autre réponse juste (suivant le modèle de nombre d'oxydation) ou le contraire.

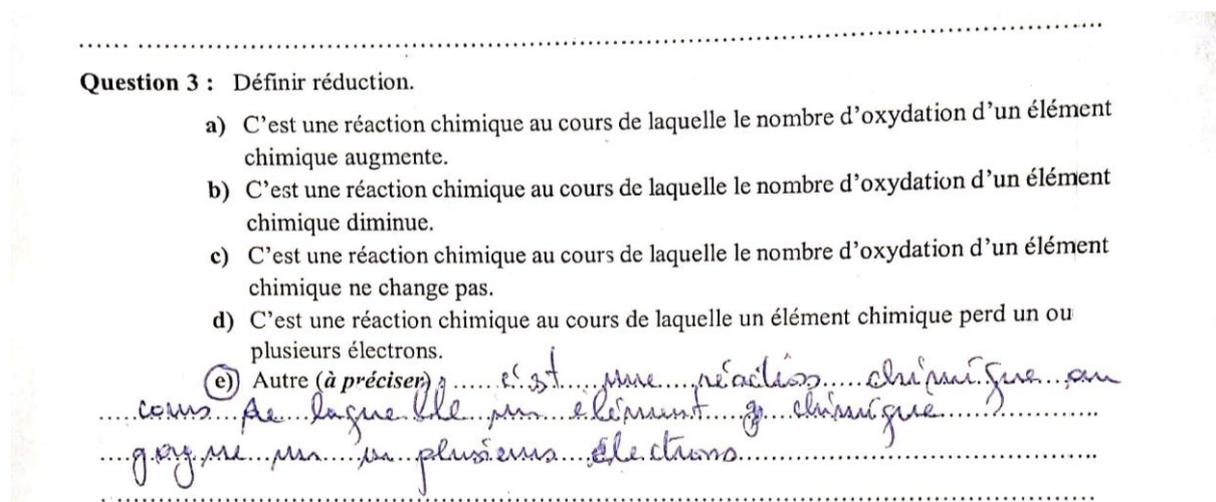


FIGURE 15: EXEMPLE DE CAS DE REPLI SUR UN MODÈLE (COPIE DE L'ÉLÈVE DE CODE ELX5 DE LA PREMIÈRE D₂ DU GROUPE EXPÉRIMENTAL)

La réponse attendue de la question de la figure ci-dessus est **b)** mais le répondant la délaissent pour définir le concept de réduction suivant le modèle électronique.

L'oxydoréduction est un échange d'électrons entre un oxydant et un réducteur ; autrement, l'oxydoréduction est d'une manière simultanée une oxydation et une réduction. Nous voulons par ceci que si un apprenant comprend le sens des mots oxydation et réduction, il devrait comprendre également le sens d'oxydoréduction et vice-versa. Cela ne semble pas être le cas pour les apprenants ayant répondu au questionnaire ; quand on observe le résultat de la **question 1 (définir oxydoréduction)** et ceux des **questions 2 (définir oxydation)** et **question 3 (définir réduction)**, on constate que le pourcentage des réponses justes attendues à la première question (question 1) est moins élevé que ceux de deux autres questions au prétest et au post-test. Ces pourcentages sont respectivement 40% et 56%, 64% et 80% et enfin 56% et 76%. Cela peut se comprendre tel que les apprenants s'appliquent beaucoup plus à la mémorisation qu'à la

compréhension même des concepts. Comprendre un concept implique d'être capable de le situer dans son réseau conceptuel et de pouvoir établir un lien entre les différents concepts de ce réseau.

Comme signalé déjà plus haut, ces trois questions rentrent dans l'objectif qui était de vérifier la connaissance des apprenants sur les concepts de base de l'oxydoréduction. Les résultats précédents nous montrent que les apprenants dans la majorité ont une connaissance acceptable sur ces concepts malgré les difficultés constatées qu'on ne doit pas négliger. Les pourcentages des répondants du post-test sont élevés certainement à cause de la brève révision faite sur ces concepts lors de la séquence d'enseignement-test.

À la question 4, il est demandé aux répondants de définir nombre d'oxydation.

Au pré-test, le pourcentage de répondants ayant choisi la réponse attendue est de 08%, ils ont choisi la proposition qui définit le concept de nombre d'oxydation tel que « **c'est un nombre de charge fictive écrit en chiffre romain portée par cet atome si les électrons de liaison étaient attribués aux éléments les plus électronégatifs.** ». 76% de répondants ont choisi la proposition définissant le nombre d'oxydation comme « **c'est un nombre écrit en chiffre romain qui détermine le degré d'oxydation de cet atome.** » ; 12% ont choisi la proposition définissant le nombre d'oxydation comme « **c'est un nombre conventionnel attribué à cet atome au sein d'un groupe d'atomes.** » et 4% ont choisi la position le définissant comme « **c'est le nombre de charge ionique écrit en chiffre romain de cet atome.** ». Ce pourcentage de réponse attendue, très faible d'ailleurs, nous amène à dire à priori que les répondants ne connaissent pas le concept de nombre d'oxydation. Au regard de ces résultats du pré-test, il semble pertinent de comprendre les choix majoritaire des répondants ; sur le plan didactique, les apprenants n'ont retenu que ce leur a dit leur enseignant, ce qui est dans les livres au programme. Cette proposition sur laquelle 76% ont porté leurs choix ne définit pas le nombre d'oxydation dans son sens conceptuel et est dans le cadre de notre recherche inacceptable comme nous l'avons signifié au chapitre 3.

Au post-test, 72% de répondants ont choisi la réponse attendue. Un pourcentage satisfaisant qui mène à dire que le test a eu un effet positif important dans la construction du concept de nombre d'oxydation par les apprenants (répondants). Les 28% de répondants ayant choisi des propositions auraient consulté des supports des cours proposées par leur enseignant et auraient retenu la définition du nombre d'oxydation qui met en avant beaucoup plus sa caractéristique

conventionnelle que conceptuelle. Leur choix (sur les propositions fausses) peut être assimilé à la résistance à la conception nouvelle qu'apporte l'enseignement test sur le concept de nombre d'oxydation.

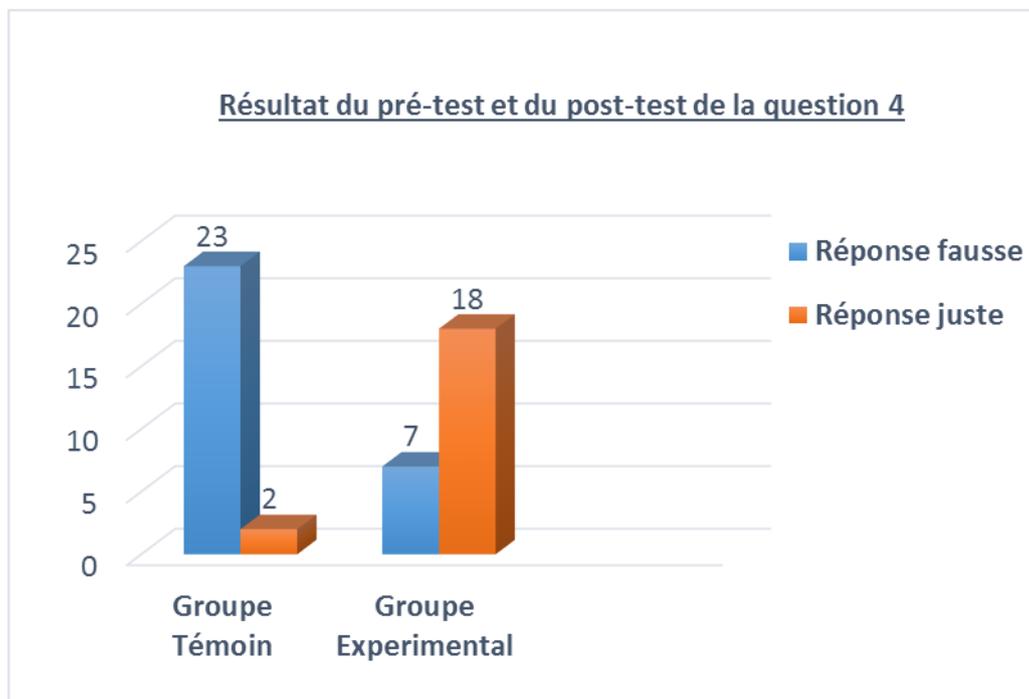


FIGURE 16: RÉSULTATS DU GROUPE TÉMOIN ET DU GROUPE EXPÉRIMENTAL POUR LA QUESTION 4.

Pour cette question, le groupe expérimental enregistre un grand très pourcentage de réponse attendue que le groupe témoin. Ce large décalage est certainement le fruit d'un problème didactique. La définition apprise par les apprenants du groupe témoin ne décrit terminologiquement pas le concept de nombre d'oxydation. Cet conçu de classe constitue un obstacle didactique à la construction ou à l'appropriation par les apprenants du concept d'oxydation. D'ailleurs, la compréhension du concept de nombre d'oxydation implique la capacité de le déterminer pour un élément chimique dans un groupe atomique. Ainsi la question 5, question 6 et question 8 va mieux renseigner sur le groupe d'apprenants (témoin ou expérimental) qui s'est approprié mieux du concept de nombre d'oxydation.

À la question 5, il est demandé aux répondants de déterminer le nombre d'oxydation de l'élément chimique cuivre **Cu** dans la molécule **Cu₂O**.

Au pré-test, 56% de répondants donné la réponse attendue en justifiant par une logique mathématique soutenue par une des règles de détermination de nombre d'oxydation d'un

élément chimique dans une molécule polyatomique qui stipule que « la somme des nombres d'oxydation des atomes constituant une molécule est égale à zéro ».

Question 5 : Le nombre d'oxydation de l'élément chimique Cuivre (Cu) dans la molécule Cu_2O est :

- a) +II
- b) -II
- c) +I
- d) -I
- e) Autre (à préciser)

Justifier votre choix : Je justifie en calculant.....

$$2n.o(\text{Cu}) + n.o(\text{O}) = 0 \Rightarrow 2n.o(\text{Cu}) = -n.o(\text{O}) = -(-2) = +2$$

$$2n.o(\text{Cu}) = +2 \Rightarrow n.o(\text{Cu}) = +1$$

FIGURE 17: EXEMPLE DE RÉPONSE DONNÉ PAR 56% DES RÉPONDANTS DU GROUPE TÉMOIN (COPIE DE L'ÉLÈVE DE CODE ET₁₀ DU GROUPE TÉMOIN)

08% des répondants ont choisi la proposition a) +II en justifiant tel que « **parce le nombre d'oxydation de l'atome de cuivre est +II.** » et « **car il possède 2 comme nombre d'oxydation.** ». Bien que leur choix soit une proposition fautive, leur justification nous révèle que ces répondants font une confusion entre la charge ionique et le nombre d'oxydation comme l'a relevé (Kenneth Adu-Gyamfi, 2018).

12% des répondants ont choisi la proposition e) **Autre** ont donné en précision **0** comme nombre d'oxydation de l'élément Cu. Ils ont justifié tel comme indiqué dans la figure ci-après.

Question 5 : Le nombre d'oxydation de l'élément chimique Cuivre (Cu) dans la molécule Cu_2O est :

- a) +II
- b) -II
- c) +I
- d) -I
- e) Autre (à préciser) 0.....

Justifier votre choix :

$$2n.o(\text{Cu}) + n.o(\text{O}) = 0$$

$$2n.o(\text{Cu}) = -n.o(\text{O})$$

$$n.o(\text{Cu}) = +\frac{2}{2} = +1$$

$$n.o(\text{Cu}) = 0$$

FIGURE 18: EXEMPLE DE JUSTIFICATION DONNÉE PAR 12% DES RÉPONDANTS DU GROUPE TÉMOIN (COPIE DE L'ÉLÈVE DE CODE ET₂₂ DU GROUPE TÉMOIN).

Ces répondants ont manifestement mal utilisé la règle de détermination du nombre d'oxydation énoncée dans le paragraphe précédent.

24% ont donné des réponses fausses avec des justifications qui ne cadrent pas avec leur choix. Ces répondants font montre d'un manque de connaissance sur le concept de nombre d'oxydation.

Au post-test, 80% des répondants ont choisi la réponse attendue et ont en majorité justifié leur choix avec la méthode de répartition électronique suivant l'électronégativité des atomes constituant le groupe atomique comme le présente la figure ci-dessous. 20% de répondants ont des réponses parfois fausses ou justes avec des justifications qui ne correspondent pas leur choix. Le pourcentage très élevé de réponse attendue montre que l'enseignement-test a contribué véritablement à la construction du concept d'oxydation par ces répondants du groupe expérimental.

.....
Question 5 : Le nombre d'oxydation de l'élément chimique Cuivre (Cu) dans la molécule Cu_2O

est :

- a) + II
- b) - II
- c) + I
- d) - I
- e) Autre (à préciser)

Justifier votre choix : Le O étant plus électro-négatif, on aurait
 $\text{Cu} - \bar{\text{O}} - \text{Cu} \rightarrow \text{Cu} \mid \bar{\text{O}} \mid \text{Cu}$. D'où les atomes
 Cu quittent de l'état fondamental de $1e^-$ à $0e^-$
 $1 - 0 = +I$

FIGURE 19: EXEMPLE DE RÉPONSE DONNÉE PAR LA MAJORITÉ DE 80% DES RÉPONDANTS DU GROUPE EXPÉRIMENTAL (COPIE DE L'ÉLÈVE DE CODE EX₂ DU GROUPE EXPÉRIMENTAL).

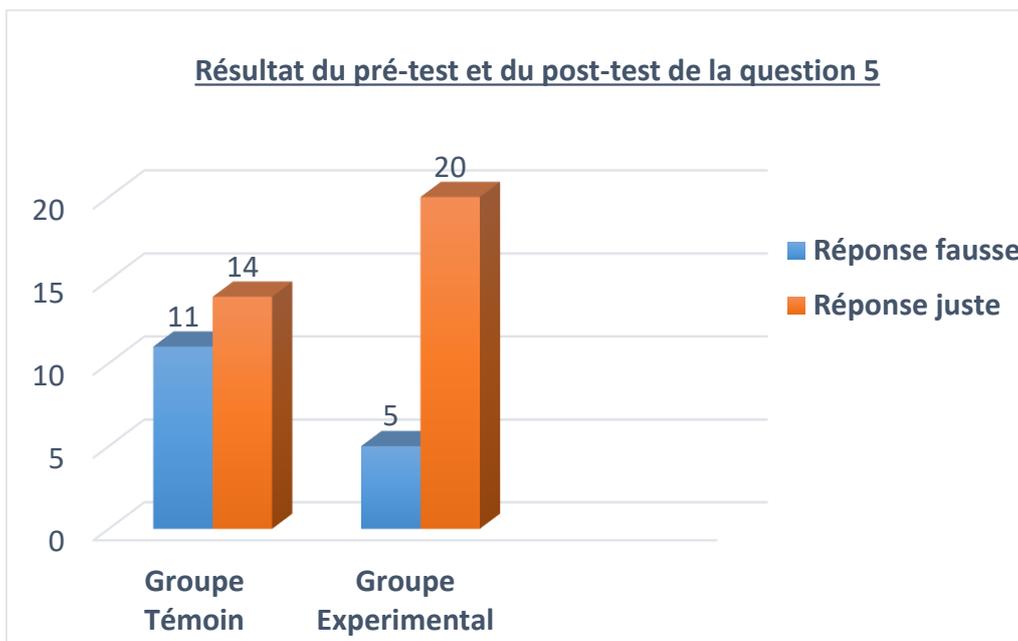


FIGURE 20: RÉSULTATS DU GROUPE TÉMOIN ET DU GROUPE EXPÉRIMENTAL POUR LA QUESTION 5.

En somme, pour cette question, les pourcentages de réponses attendues dans les deux groupes sont supérieurs à la moyenne. Ce qu'il faut retenir est l'existence de deux méthodes de détermination du nombre d'oxydation qui sont la méthode relevant de la logique mathématique ou méthode logicomathématique et la méthode de répartition électronique. Chaque groupe a utilisé l'une des deux méthodes en fonction du contenu d'enseignement reçu. Le groupe témoin pour la méthode logicomathématique et le groupe expérimental pour la méthode de répartition électronique. En comparant les pourcentages de réponses attendues, il est évident de dire que le groupe expérimental comprend mieux que le témoin le concept de nombre d'oxydation. La question 6 suivante nous en dira Plus.

À la question 6, il est demandé aux répondants de déterminer pour l'atome flore **F** dans la molécule est **O₂F₂**.

Au pré-test, seulement 08% des répondants ont choisi la réponse attendue qui est la proposition **b) -I** et ont justifié tel que « **car l'atome de flore possède en lui un seul électron** » et comme le présente la figure ci-dessous. Sur le plan didactique, ce choix juste s'avère relever du hasard car aucune donnée dans le contenu d'enseignement classique reçu par ces apprenants ne permet d'arriver à ce résultat. Mais la justification de la figure semble logique du point de vue mathématique ; cependant le fait d'attribuer le nombre d'oxydation **+I** à l'atome d'oxygène suscite une grande curiosité. Pourquoi ne lui a-t-il attribué **+II**, **-I**, ou bien **-II** comme

généralement ? La justification ci-dessous nous relève que ces répondants utilisent la règle de détermination de nombre d'oxydation énoncée précédemment pour les molécules polyatomiques presumant tout d'abord que le nombre d'oxydation de l'atome de flore est $-I$ du fait que cet atome porte une charge négative sous la forme ionique (F^{1-}). 80% des répondants ont choisi la proposition c) $+II$ et justifiant par la méthode logicomathématique. Cette proposition est fautive bien que leur choix et leur justification soit concordants. Et 12% des répondants ont porté leur choix sur d'autres propositions en donnant des justifications en désaccord avec le choix.

Question 6 : le nombre d'oxydation de l'élément Flore (F) dans la molécule O_2F_2 est :

- a) $+I$
 b) $-I$
 c) $+II$
 d) Autre (à préciser)

Justifier votre choix :

$$2 \cdot n \cdot o(O) + 2 \cdot n \cdot o(F) = 0$$

$$2 \cdot n \cdot 0 + 2 \cdot n \cdot o(F) = -2$$

$$n \cdot o(F) = -I$$

FIGURE 21: EXEMPLE DE RÉPONSE DONNÉE PAR LA MAJORITÉ DE 08% DES RÉPONDANTS DU GROUPE TÉMOIN (COPIE DE L'ÉLÈVE DE CODE ET₁₇ DU GROUPE TÉMOIN).

Au post-test, 76% des répondants ont choisi la réponse attendue et ont justifié pour la majorité par la répartition électronique comme indique dans la figure ci-dessous.

Question 6 : le nombre d'oxydation de l'élément Flore (F) dans la molécule O_2F_2 est :

- a) $+I$
 b) $-I$
 c) $+II$
 d) Autre (à préciser)

Justifier votre choix : Le F étant plus électro-négatif on attribue
 $\overset{+}{F} - \overset{-}{O} - \overset{-}{O} - \overset{+}{F} \rightarrow \overset{+}{F} | \overset{-}{O} - \overset{-}{O} | \overset{+}{F} \rightarrow \overset{+}{F} | \overset{-}{O} : \overset{-}{O} | \overset{+}{F}$
 D'où les atomes F quittent d'un état fondamental de 7e à 8e
 $7 - 8 = -I$

Question 6 : le nombre d'oxydation de l'élément Flore (F) dans la molécule O_2F_2 est :

- a) $+I$
 b) $-I$
 c) $+II$
 d) Autre (à préciser)

Justifier votre choix : O_2F_2
 $\overset{+}{F} - \overset{-}{O} - \overset{-}{O} - \overset{+}{F} \rightarrow \overset{+}{F} | \overset{-}{O} : \overset{-}{O} | \overset{+}{F}$
 $n \cdot o(F) = 7 - 8 = -I$
 $n \cdot o(O) = 6 - 5 = +I$

FIGURE 22: EXEMPLES DE RÉPONSE DONNÉE PAR 76% DES RÉPONDANTS DU GROUPE EXPÉRIMENTAL (COPIE DES ÉLÈVES DE CODE EX₂ ET EX₃ DU GROUPE EXPÉRIMENTAL).

Les réponses données par ces apprenants (76% du groupe expérimental) et surtout leur justification montrent qu'ils ont bien assimilé le contenu de l'enseignement-test.



En somme, l'écart important entre le résultat du groupe témoin et celui du groupe expérimental montre non seulement que l'enseignement expérimental a permis aux apprenants de mieux construire le concept d'oxydation mais justement que la méthode logicomathématique est limitée pour la détermination de nombre d'oxydation des éléments chimiques dans une espèce chimique. Cette affirmation devrait être confirmée à la question 8.

À la question 8 (question ouverte), il est demandé aux apprenants d'oxydation de l'élément fer (Fe) dans la molécule Fe_3O_4 .

Au pré-test, aucun apprenant n'a pu donner une réponse juste soit un pourcentage de 0%. En effet, ces apprenants en majorité, en utilisant la méthode logicomathématique sont parvenus à $8/3$ comme solution. Parvenu à cette réponse, 16% ont arrondi au chiffre entier supérieur, 04% ont signalé que c'est impossible (voir la figure ci-dessous) et 36% ont maintenu ce nombre non entier comme réponse. Les 44% ont donné des réponses diverse et fausses.

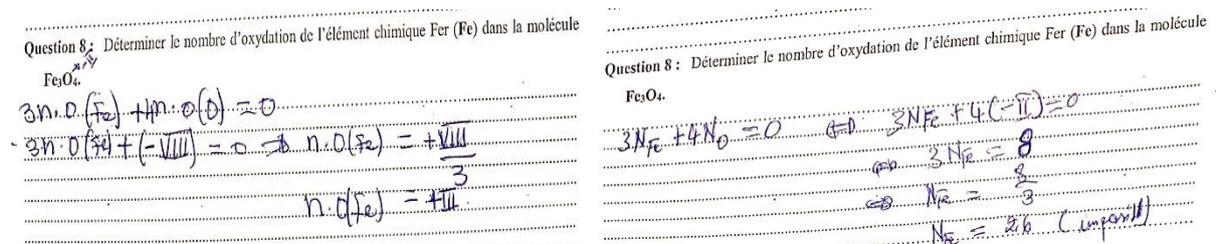


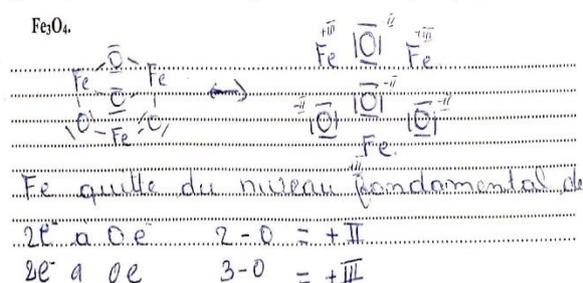
FIGURE 24: EXEMPLES DE RÉPONSE DONNÉE DES RÉPONDANTS DU GROUPE TÉMOIN (COPIE DES ÉLÈVES DE CODE ET₄ ET ET₂₄ DU GROUPE TÉMOIN).

Dans le contenu d'enseignement classique, le concept de nombre d'oxydation est présenté comme étant toujours un nombre entier relatif. C'est qui est d'ailleurs vrai. La réponse à la question 8 trouvée par les apprenants en utilisant la méthode logicomathématique est un nombre non entier. Sur le plan du savoir savant la réponse logique de la méthode est inacceptable par 12% de répondants qui ont préféré d'arrondir à l'entier supérieur, étant donné qu'ils savent que le nombre d'oxydation ne peut être un nombre non entier. Sur le plan didactique, cette réponse est acceptable bien qu'elle soit fautive. 36% de répondants ont accepté cette réponse en se passant du que le nombre d'oxydation soit un en entier relatif. Ceci révèle un problème d'ordre didactique qui amène à remettre davantage en cause la méthode logicomathématique qui crée un obstacle didactique et constitue ainsi une source de difficulté chez les apprenants.

Au post-test, 56% des répondants ont donné la réponse juste en utilisant d'une manière claire la répartition électronique telle que le présente la figure ci-dessous. Les 44% des répondants n'étant pas parvenus à la réponse attendue ont du moins travaillé avec la méthode de répartition électronique pour la majorité.

Question 8 : Déterminer le nombre d'oxydation de l'élément chimique Fer (Fe) dans la molécule

Fe_3O_4 .



Question 8 : Déterminer le nombre d'oxydation de l'élément chimique Fer (Fe) dans la molécule

Fe_3O_4 .

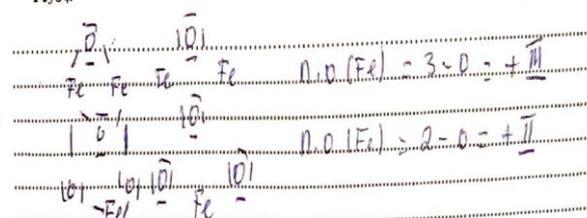


FIGURE 25: EXEMPLES DE RÉPONSE DONNÉE PAR 56% DES RÉPONDANTS DU GROUPE EXPÉRIMENTAL (COPIE DES ÉLÈVES DE CODE EX₂ ET EX₃ DU GROUPE EXPÉRIMENTAL).

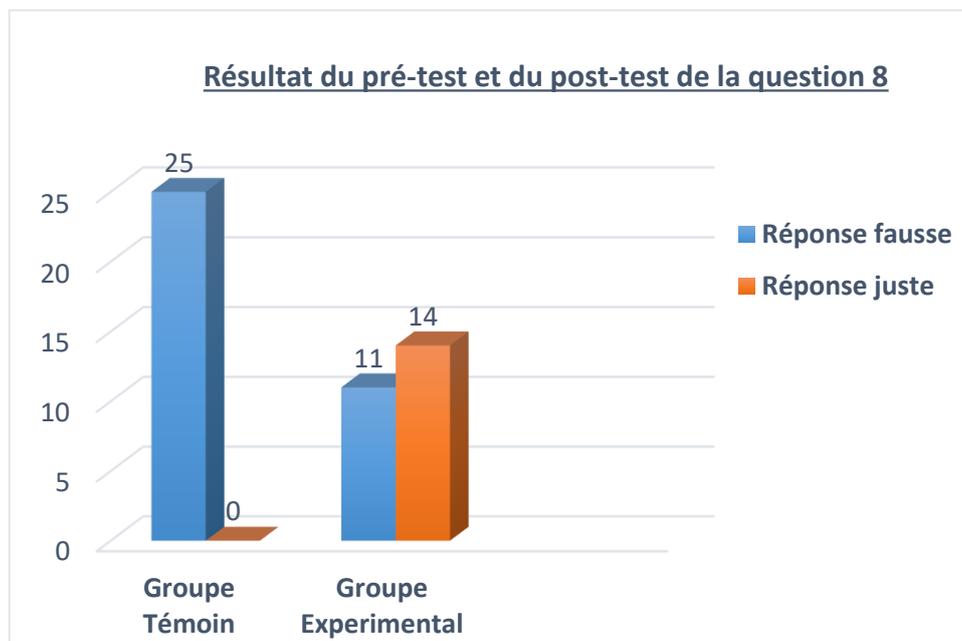


FIGURE 26: RÉSULTATS DU GROUPE TÉMOIN ET DU GROUPE EXPÉRIMENTAL POUR LA QUESTION 8.

En comparant les résultats des deux groupes, celui du groupe expérimental a un pourcentage de réponse attendue très élevé. Cela montre sans doute que l'enseignement-test a contribué efficacement à la construction du concept de nombre d'oxydation. Le fait qu'aucun répondant ne soit parvenu à la réponse attendue appelle davantage à questionner le contenu d'enseignement classique reçu par ces apprenants.

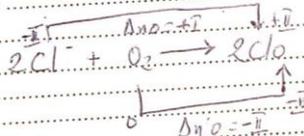
À la question 7, il est demandé aux répondants d'identifier parmi les équations-bilans celle qui traduit une oxydoréduction.

Au pré-test, 24% ont choisi la réponse attendue en justifiant d'une manière peu satisfaisante telle que l'indique la figure ci-dessous. 64% des répondants ont choisi la proposition **d**) en justifiant par un échange d'électrons entre deux espèces ; ce qui peut être une piste de recherche à l'avenir aux fins de connaître comment les apprenants perçoivent les échanges d'électrons dans une équation bilan d'oxydoréduction. Et 12% ont fait montre une incapacité de mobiliser le concept de nombre d'oxydation pour résoudre un problème.

Question 7: Parmi les équations bilans suivantes, quelle est celle qui traduit une réaction d'oxydoréduction.

- a) $C_2H_4 + H_2 \rightarrow C_2H_6$
 b) $NH_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl$
 c) $2Cl^- + O_2 \rightarrow 2ClO^-$ ✓
 d) $H_2SO_4 + 2H_2O \rightarrow SO_4^{2-} + 2H_3O^+$

Justifier votre choix :



$$x \Delta n.o. + y \Delta n.o. = 0$$

$$1x - 2y = 0$$

$$x = 2 \quad y = 1$$

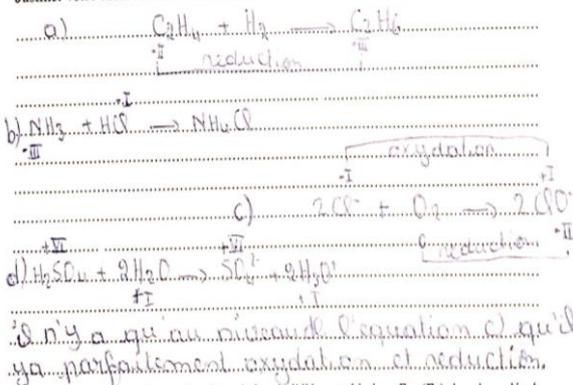
FIGURE 27: EXEMPLES DE RÉPONSE DONNÉE 24% DES RÉPONDANTS DU GROUPE TÉMOIN (COPIE DE L'ÉLÈVE DE CODE ET₁₃ DU GROUPE TÉMOIN).

Au post-test, 48% ont choisi la réponse attendue avec des justifications satisfaisantes à l'exemple de celle présentée dans la figure ci-dessous. Les 52% de réponses fausses nous révèlent des difficultés de mobilisation des ressources par des apprenants.

Question 7: Parmi les équations bilans suivantes, quelle est celle qui traduit une réaction d'oxydoréduction.

- a) $C_2H_4 + H_2 \rightarrow C_2H_6$
 b) $NH_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl$
 c) $2Cl^- + O_2 \rightarrow 2ClO^-$
 d) $H_2SO_4 + 2H_2O \rightarrow SO_4^{2-} + 2H_3O^+$

Justifier votre choix :



Question 7: Parmi les équations bilans suivantes, quelle est celle qui traduit une réaction d'oxydoréduction.

- a) $C_2H_4 + H_2 \rightarrow C_2H_6$
 b) $NH_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl$
 c) $2Cl^- + O_2 \rightarrow 2ClO^-$
 d) $H_2SO_4 + 2H_2O \rightarrow SO_4^{2-} + 2H_3O^+$

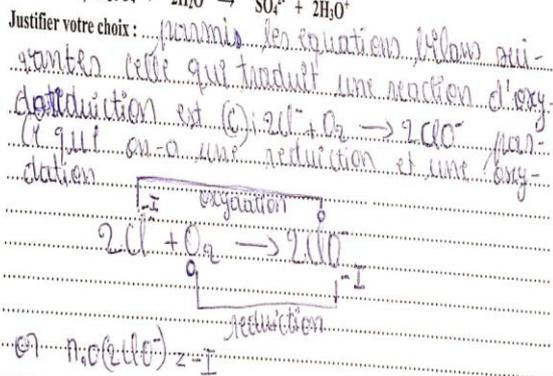


FIGURE 28: EXEMPLES DE RÉPONSE DONNÉE PAR 52% DES RÉPONDANTS DU GROUPE EXPÉRIMENTAL (COPIE DES ÉLÈVES DE CODE EX₂ ET EX₄ DU GROUPE EXPÉRIMENTAL).

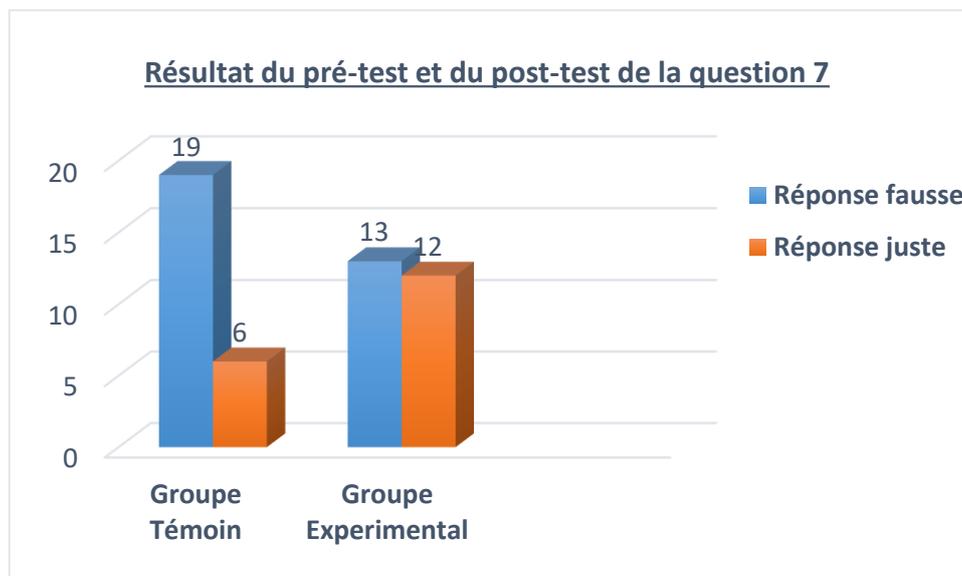


FIGURE 29: RÉSULTATS DU GROUPE TÉMOIN ET DU GROUPE EXPÉRIMENTAL POUR LA QUESTION 7.

En somme, la question 7 nous a montré que qu'il existe réellement une distance entre l'acquisition d'une ressource et sa mobilisation dans une situation donnée. Ceci étant, alors que tous ses apprenants ont sont formé depuis environ quatre ans dans un contexte d'approche par les compétences avec entré par les situations problèmes.

Bien que dans les deux groupes n'ont pas un pourcentage dépassant la moyenne, celui du groupe expérimental est largement supérieur à celui du groupe témoin. Ce décalage est certainement dû à l'enseignement-test.

4.3. Vérification et validation de l'hypothèse

Afin de valider notre hypothèse, nous allons nous intéresser sur les questions (question 4, question 5, question 6 et question 7) visant à vérifier l'appropriation du concept de nombre d'oxydation par les répondants et faire une comparaison des résultats du groupe témoins et le groupe expérimental afin de pouvoir valider ou invalider notre hypothèse.

Notre hypothèse est que la simulation numérique de la répartition électronique au sein d'un groupe atomique favorise la construction du concept de nombre d'oxydation par les élèves de classe de première scientifique de l'enseignement secondaire au Cameroun. Et l'hypothèse nulle est que la simulation numérique de la répartition électronique au sein d'un groupe atomique ne favorise pas la construction du concept de nombre d'oxydation par les élèves de classe de première scientifique de l'enseignement secondaire au Cameroun.

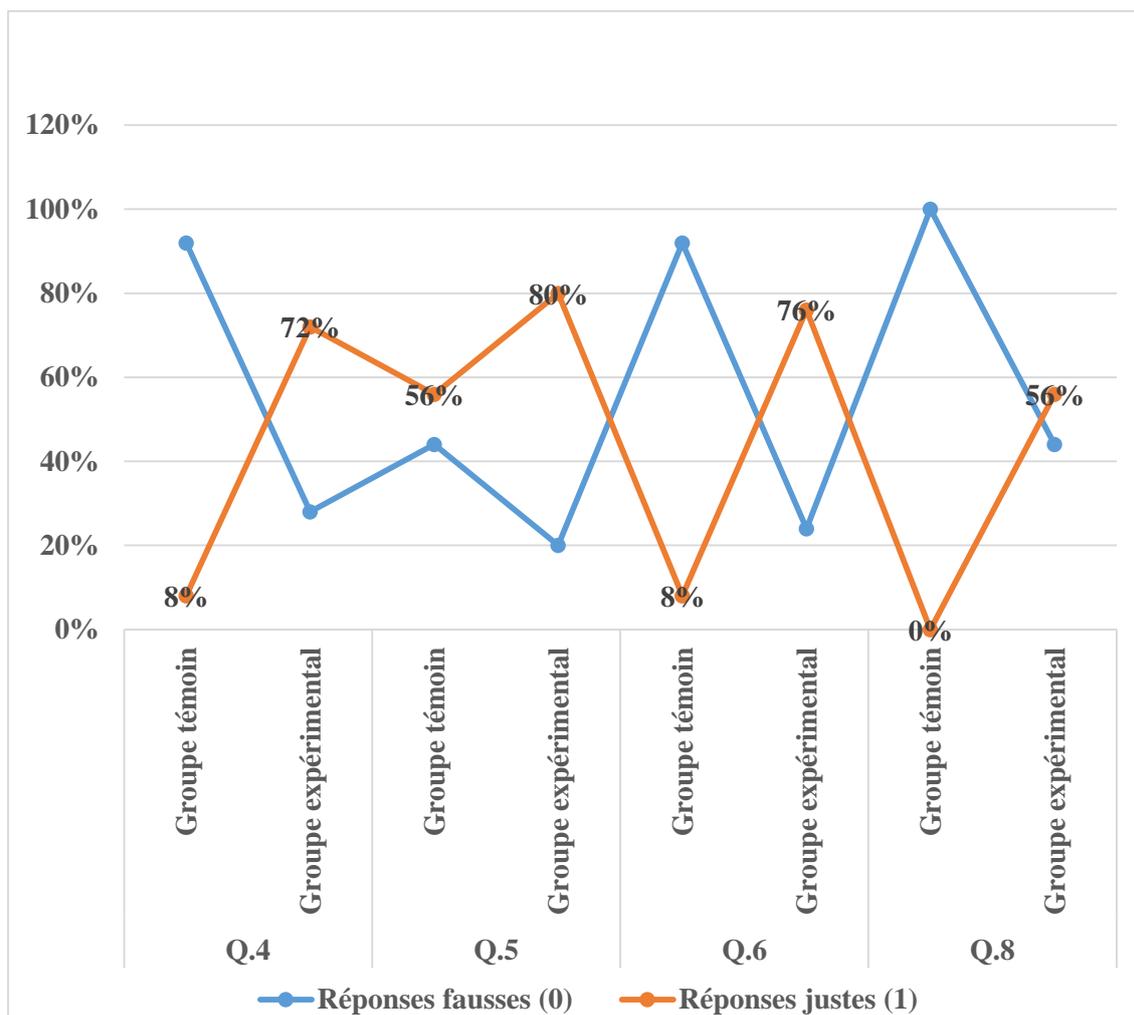


FIGURE 30: RÉSULTATS DU PRÉ-TEST ET DU POST-TEST DES QUESTIONS Q.4, Q.5, Q.6 ET Q.8

D'après le graphe ci-dessus, le pourcentage moyen de réponses justes pour le groupe témoin est 18% soit $\frac{(8\%+56\%+8\%+0\%)}{4}$ et celui du groupe expérimental est 71% soit $\frac{(72\%+80\%+76\%+56\%)}{4}$.

Ces résultats qui gardent un écart considérable révèlent que le test (séance d'enseignement-apprentissage sur le nombre d'oxydation avec l'usage de la simulation numérique) a contribué significativement à l'appropriation du concept de nombre d'oxydation. Ainsi, l'hypothèse nulle est rejetée au profit de notre hypothèse et donc la simulation numérique de la répartition électronique au sein d'un groupe atomique favorise la construction du concept de nombre d'oxydation par les élèves de classe de première scientifique de l'enseignement secondaire général au Cameroun.

4.4. Discussion

Les résultats de cette étude nous révèlent plusieurs problèmes qui font obstacle à l'apprentissage des concepts d'oxydoréduction et particulièrement du concept de nombre d'oxydation. Au-delà des difficultés liées à l'interférence de langage commun et à l'accrochement des apprenants à l'algorithme de calcul pour la détermination du nombre d'oxydation révélées d'ailleurs par les travaux de (Mohamed SOUDANI D. C., 1998) et ceux de (Kenneth Adu-Gyamfi, 2018), nous constatons un réel problème d'ordre didactique.

Les apprenants font preuve d'un manque de connaissances sur les modèles explicatif d'oxydoréduction. Si ces modèles sont présentés séparément aux apprenants ainsi que les rapports (similitudes et leurs dissimilitudes), ils seraient capables de se situer dans chaque modèle. En classe de première scientifique de l'enseignement général, l'oxydoréduction est présentée sur deux modèles dont le modèle électronique et le modèle de nombre d'oxydation mais la structuration du contenu des leçons ne permet pas de comprendre qu'il s'agit de deux modèles bien distincts, complémentaires bien que celui de nombre d'oxydation soit généralisant.

La façon dont le concept de nombre d'oxydation est abordé dans les manuels scolaires au programme ne favorise pas l'appropriation de ce concept et quand les apprenants ne parviennent pas à saisir le sens d'un concept, ils se résolvent à mémoriser les énoncés pour pouvoir les restituer telle que mémorisés pour échapper un contrôle de connaissances et pourtant ... dans L'excellence en chimie (Ango Yves), le sous-titre est libellé de la manière suivante « nombre d'oxydation ou degré d'oxydation » et le nombre d'oxydation d'un atome est défini comme étant « un nombre écrit en chiffre romain que caractérise le degré d'oxydation de cet atome ». Cette définition qui ne semble ne pas obéir aux principes et règles définitoires de Philippe Meirieu (2019).

De plus cette étude permet de constater non que les apprenants s'accrochent davantage sur la méthode logicomathématique de détermination du nombre d'oxydation d'un atome alors qu'en réalité, cette méthode ne permet pas d'une manière générale de déterminer le nombre d'oxydation mais plutôt la moyenne de nombre d'oxydation de tous les atomes identiques d'une espèce chimique. A l'exemple, dans l'espèce chimique $S_2O_3^{2-}$, le nombre d'oxydation de chaque atome d'oxygène est $-II$ et pour deux atomes de soufre, l'un a un nombre d'oxydation de $+V$ et l'autre $-I$ alors suivant la méthode logicomathématique privilégiée dans les manuels scolaires, le nombre d'oxydation de tous les atomes d'oxygène est $-VI$ dont $-II$ pour chaque atome d'oxygène et le nombre d'oxydation de tous les atomes de soufre est $+IV$ dont $+II$ pour chaque atome de soufre ; ce qui n'est pas du tout juste.

Si le concept de nombre est non connu ou bien mal connu des apprenants, il serait très difficile qu'ils puissent être capables d'interpréter l'oxydoréduction avec ce modèle. Alors (V. Ringnes, Décembre 1995) cité par (Mohamed SOUDANI D. C.-H., Difficultés d'apprentissage du

concept d'oxydoréduction, 1996) a mis en évidence la limite du modèle électronique et la «supériorité» du modèle du nombre d'oxydation.

4.5. Suggestions

A la suite de cette étude, nous suggérons:

Aux enseignants de déployer une transposition didactique adaptée au caractère abstrait du concept de nombre d'oxydation. Recourir à la simulation numérique favorisera sans doute non seulement la pratique d'enseignement mais aussi l'apprentissage chez les apprenants. Nous recommandons de faire recours à la répartition électronique pour déterminer le nombre d'oxydation d'atome.

Aux concepteurs des manuels scolaires, de faire une brève présentation de tous les modèles explicatifs de l'oxydoréduction afin que les enseignants et les apprenants puissent se rendre compte de ces modèles ; d'ajouter à la méthode logicomathématique existante la méthode de répartition électronique tout en rappelant en guise de prérequis la notion de l'électronégativité et surtout de mieux faire une transposition externe des savoirs afin d'éviter les obstacles épistémologique et didactique en salle de classe ; à cet effet nous suggérons de consulter Philippe Meirieu (2019) pour les définitions des concepts.

Aux institutions d'enseignement de se munir des outils didactiques qui répondent au contexte de la digitalisation de l'enseignement-apprentissage et au contexte de la technologie de l'information et de la communication pour l'éducation.

CONCLUSION GENERALE

Les simulations informatiques améliorent la compréhension des concepts (Droui, & El Hajjami, 2014 ; Kollöffel & Jong, 2013 ; Gratch et al, 2007), et le processus de conceptualisation, en permettant aux élèves de faire des mises en relation constantes entre les concepts étudiés et les objets et évènements du monde matériel (Buty, 2003, 2000). Elles favoriseraient aussi le processus de modélisation du concept (Beaufils & Richoux, 2003) » (Ahassanne, 2020, p. 83)

Au terme de notre étude dont l'objectif était de montrer que la simulation numérique de la répartition électronique au sein des atomes d'un groupe atomique favorise la construction de nombre d'oxydation par les apprenants de classe de première scientifique dans le contexte camerounais, nous sommes parvenus à valider notre hypothèse de recherche tout en découvrant que les apprenants se contentent de mémoriser les énoncés scientifiques qu'ils reçoivent de leurs enseignants sans toutefois comprendre le sens de ces énoncés ou bien des concepts qu'ils véhiculent ; ce qui ne leur permet pas de construire un savoir véritable. Egalement, les apprenants s'accrochent beaucoup plus à la méthode logicomathématique qui, comme nous l'avons découverte, ne permet pas en réalité de déterminer le nombre d'oxydation d'un atome donné mais plutôt la moyenne de nombre d'oxydation de tous les atomes qui constituent une espèce chimique quelconque. Une méthode que nous recommandons de délaisser au profit de celle par répartition électronique que nous avons testée par la simulation numérique et qui a permis aux répondants du groupe expérimental de répondre beaucoup mieux que ceux du groupe témoins en enregistrant respectivement un pourcentage moyen de 71% et de 18%.

Les savoirs de la chimie se caractérisent par une dualité problématique : ils appartiennent à deux domaines dont les échelles sont très différentes : le sous-microscopique et le macroscopique. À ces deux domaines principaux s'en ajoute un troisième, le symbolique. Ces trois domaines forment les sommets d'un triangle qui illustre les relations et les imbrications entre eux (Johnstone, 1993). C'est d'ailleurs en grande partie l'établissement de liens entre ces domaines qui pose problème dans l'enseignement et l'apprentissage de la chimie (Jansoon, Coll et Samsook, 2009 ; Levy et al. 2004). (Halloun, Novembre 2019, p. 41)

Le concept de nombre d'oxydation étant de l'ordre abstrait, sous-microscopique, du non-objet, il est donc favorable de l'enseigner suivant une transposition didactique qui puisse permettre à

l'apprenant de transiter facilement de la dimension sous-microscopique (phénoménologique) à la dimension macroscopique (phénoménographie) par l'intermédiaire des symboles (modèles). Comme affirme (AYINA BOUNI, 2007) « La simulation permet de rendre concret un phénomène abstrait et comprendre un phénomène du point de vue scientifique, c'est d'être capable de le modéliser (conceptualiser) ».

Toute œuvre humaine n'étant pas parfaite, cette étude pourrait nous révéler d'autres informations pertinentes si elle est reprise sur un échantillon plus grand et avec d'autres outils de collecte de données. Il nous paraît toutefois pertinent de rappeler que les données sont recueillies au moment où les élèves sont en pleine préparation de l'examen (à moins trois semaines de l'examen de probatoire) et on peut estimer que chaque élève en ce moment est dans son meilleur état de connaissance.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- Afric memoire. (2018). Consulté le Avril 23, 2023, sur <http://www.africmemoire.com/part.3-chap-ii-milieu-detude-et-approche-methodologique-116.html>
- Ahassanne, D.-H. (2020). *L'impact de l'utilisation des simulations informatiques sur la compréhension des concepts de la physique en situation d'enseignement en classe entière au collège en Côte d'Ivoire. Etude du cas d'un simulateur d'oscilloscope*. Paris: HAL open science. Récupéré sur <https://theses.hal.science/tel-03274905>
- Alain Perche et al. (2002). les réactions d'oxydo-réduction. *unisciel*. Consulté le 12 30, 2022, sur <https://uel.unisciel.fr/chimie/solutaque>
- Anastassis Kozanitis. (2005). Les principaux courants théoriques de l'enseignement et de l'apprentissage: un point de vue historique. *Bureau d'appui pédagogique école Polytechnique*.
- ANDRIANTSILAVO Parsonnette. (2006, Mars 08). *analyse de la transposition didactique du concept d'oxydoréduction dans les programmes malgaches et manuels scolaires*. ANTANANARIVO.
- ANDRIANTSILAVO Parsonnette. (2015). Elaboration d'une ressource numérique pour la modélisation et la conception de l'oxydoréduction.
- Ango Yves, A. F. (s.d.). *L'excellence en chimie*. (NMI, Éd.)
- Astolfi J. P. (2014). *La saveur des savoirs. Disciplines et plaisir d'apprendre*. Paris: esf.
- Astolfi, J.-P. D.-V. (2008). *Les mots clés de la didactique: repères, définitions, bibliographies*. Bruxelles: De Boeck Université.
- Aumont, B. e. (1992). *L'acte d'apprendre*. Paris: PUF.
- AYINA BOUNI. (2007). *Analyse des simulations de la conduction électrique dans les piles électrochimiques : avantages, inconvénients et impact sur la modélisation de ce phénomène par les élèves*.
- Balachef, N. (1994). La transposition informatique. Note sur un nouveau problème pour la didactique. Dans A. M. (eds), *Vingt ans de didactique des mathématiques en France* (pp. 364-370). Grenoble: ResearchGate. Récupéré sur <https://www.researchgate.net/publication/32231148>
- Beaufils, D. e. (2003). Un schéma théorique pour situer les activités avec des logiciels de simulation dans l'enseignement de la physique. *Didaskalia*, 23, 9-38.
- Boilevin. (2013). *Rénovation de l'enseignement des sciences physiques et formation des enseignants. Regards didactiques*. Bruxelles: de Boeck.

- Boilevin, J. M. (2018). EPISTEMOLOGIE ET DIDACTIQUE: Synthèses et étude de cas de mathématique et en sciences expérimentales. *La démarche d'investigation: simple effet de mode ou bien nouveau mode d'enseignement des sciences?* (O. Books, Éd.) doi:10.4000/books.pufc.11422
- boowiki. (s.d.). encyclopédie libre. Consulté le Mars 11, 2023, sur boowiki.info/art/physiciens-britannique/micheal-faraday.html
- Bru, M. (2001). *Étudier les pratiques enseignantes : les raisons d'un choix*. (Vol. 5). Revue internationale des sciences de l'éducation.
- Buty, C. (2000). *Étude d'un apprentissage dans une séquence d'enseignement en optique géométrique à l'aide d'une modélisation informatique*. (U. L. 2, Éd.) Lyon.
- Cécile de Hosson et F. Elias. (2021, Decembre 31). La théorie des deux mondes, un outil d'analyse d'une pratique enseignante innovante à l'université : cass de l'enseignement de la physique par l'escalade. (R. [. ligne], Éd.) *OpenEdition Journals*(24), 185-210.
doi:https://doi.org/10.4000/rdst.4053
- Cherif, A. (s.d.). MODULE : THÉORIES D'APPRENTISSAGE NIVEAU : MASTER I (SCIENCE DU LANGAGE). *LA THÉORIE SOCIO-CONSTRUCTIVISTE Apprendre c'est échanger*. Consulté le Decembre 23, 2022
- Chevallard Y. et Joshoua M. (1985-1991). La Transposition didactique. Du savoir savant à savoir enseigné. *La Pensée sauvage*.
- Dictionnaire Le Robert. (1951).
- Dumon, A. (2019). HISTOIRE DE LA CHIMIE: origine des concepts d'oxydation et de reduction. *UNION DES PROFESSEURS DE PHYSIQUE CHIMIE*.
- Ernaux, D. (1998). Lavoisier et la composition de l'air. *DES PHENOMENES ET DES HOMMES*.
- Fenstermacher. (1986). philosophy of research onteaching: Three aspects. Dans *Handbook of research on teaching*. MacMillam, New York.
- Fleming. (1980). criteria of learning and teaching. *Journal of philosophy of education*, 14(1), 39-51.
- Gage N. L. (1963). Paradigms for research on teaching. Dans *Handbook of research on teaching*. New York.
- Grenoble, M. L.-I. (2011). La démarche d'investigation dans l'enseignement de la technologie au collège. où en est-on? *séminaire de 2011: la technologie au collège*. Versailles.
- Halloun, S. A. (Novembre 2019). *Impact d'une formation collaborative donnée à des enseignants de chimie du secondaire sur l'enseignement et l'apprentissage du concept de mole*. (U. d. Montréal, Éd.)

- Haution, P. J. (2021). *qu'est-ce qu'apprendre? Qu'est-ce qu'apprendre? Par Pierre Jean Haution*. (A. d. Grenoble, Éd.) Grenoble.
- Jacquemain, M. (2014). *EPISTEMOLOGIE DES SCIENCES SOCIALES UNE INTRODUCTION*.
- JanaTrgalova. (2007, decembre 05). EIAH Diversité, typologie, transposition informatique. *cours de JanaTrgalova (MASTER, UE TICE –Module A)*.
- Jemaa, A. B. (2017). *Une ingénierie didactique fondée sur une démarche d'investigation avec simulation pour enseigner les ondes mécaniques au lycée*. Tunis: HAL open science. Récupéré sur <https://theses.hal.science/tel-01769477>
- Kenne, J. K. (2009). introduction de l'informatique au Cameroun, enseignement de l'informatique au secondaire. *Association EPI*. Consulté le Nvembre 2022, sur <http://josialekenne.over-blog.com/article-33706521.html>
- Kenneth Adu-Gyamfi, J. G. (2018). TEACHERS' PROBLEMS OF TEACHING OF OXIDATION-REDUCTION REACTIONS IN HIGH SCHOOL. *European Journal of Education Studies*.
- Khan Academy. (2022, Décembre 30). Qu'est-ce que le nombre d'oxydation? Récupéré sur <fr.khanacademy.org/sciences>
- Koala, B. G. (2019). Nombre d'oxydation. *Zeste de savoir*, 2.
- Kouamé Nguessan. (February 2016). Evaluation Du Niveau De Developpement De Competences Des Etudiants En Licence 3 Et Master 1 De Sciences Physiques Des Universites De Cote D'Ivoire Sur L'oxydoreduction. *European Scientific Journal*, 12.
- Lafarge, D. (2010). *Analyse didactique de l'enseignement-apprentissage de la chimie organique jusqu'à bac+2 pour envisager sa restructuration*. Clermont.
- Lalonde, E. (2016). L'enseignement et l'apprentissage des concepts. *CONFERENCE DE L'IB EN AMERIQUES 2016*, (p. 08). Toronto.
- Mbouilou, J. D. (2019). *Utilisation pédagogique des outils numériques dans l'enseignement secondaire au Ghana: Etude comparée des cursus anglophones, francophones et bilingues*. HAL open science. Récupéré sur <https://theses.hal.science/tel-03663600>
- Méheut M. (2006). Recherche en didactique et formation des enseignants de sciences. Dans *L'enseignement des sciences des les établissements scolaires en Europe. Etats des lieux des politiques et de la recherche*. Direction générale de l'Education et de la Culture. Commission Europ&enne (pp. 55-76). 2006.
- Mohamed SOUDANI, D. C. (1998, Decembre). Difficultés d'apprentissage du concept d'oxydoréduction - deuxieme partie. *BULLETIN DE L'UNION DES PHYSICIENS*, 92(809).

- Mohamed SOUDANI, D. C.-H. (1996, Novembre). Difficultés d'apprentissage du concept d'oxydoréduction. *BULLETIN DE L'UNION DES PHYSICIENS*, 14.
- Mohamed SOUDANI, D. C.-H. (1996, Novembre). Difficultés d'apprentissage du concept d'oxydoréduction. *BULLETIN DE L'UNION DES PHYSICIENS*, 90(788), 14.
- Olivier Reboul. (2010). Qu'est-ce qu'apprendre. *chapitre II: L'apprentissage*, 40-75. Consulté le Fevrier 13, 2023
- philippe Dessus. (2008). Qu'est-ce que l'enseignement? Quelques conditions nécessaires et suffisantes de cette activité. *OpenEdition*. doi:<https://doi.org/10.4000/rfp.2098>
- Philippe Meirieu. (2019). Guide méthodologique pour l'élaboration d'une situation- problème,. *CAHIERS PEDAGOGIQUES N. 262*).
- Robert Vézina, X. D.-G. (2009). *La rédaction de définitions terminologiques*. Montréal: Office québécois de la langue française.
- Schneider, M. (s.d.). Problèmes, situations-problèmes en mathématiques : un regard pluraliste. Dans *Mathématique et Pédagogie*, (Vol. 137, pp. 13-48). Sedess de Liège: Facultés universitaires de Namur.
- SNAUWAER, B. W. (2015). LES DIFFICULTÉS RENCONTRÉES DANS L'APPRENTISSAGE DU CONCEPT DE CONCENTRATION EN CHIMIE . *Spiral-E - Revue de Recherches en Éducation*.
- Tchamabé, M. D. (2013). L'enseignement de l'informatique au Cameroun: la loi du plus riche. *Association EPI, EpiNET*. Consulté le Novembre 2022, sur <http://creativecommons.org/licences/by-nd/2.0/fr/>
- V. Ringnes. (Decembre 1995). *Oxydation-reduction-learning difficulties and choice of redox models*. (SSR, Éd.)
- Varenne, F. (2008). Epistémologie des modèles et des simulations : tour d'horizon et tendances. *ResearchGate*, pp20-22. doi:10.3917/edmat.levy.2014.01.0013
- Varenne, F. (2012). La reconstruction phénoménologique par simulation : vers une épaisseur du simulat.
- Varenne, F. (2018). FROM MODELS TO SIMULATION. *ResearchGate*.
- Verret, M. (1975). *Le temps des études*. Paris: Honoré Champion.
- VoXco. (s.d.). Qu'est-ce qu'un plan quasi-experimental ? Consulté le Avril 23, 2023, sur <http://voxco.com/fr/blog>
- wikipédia. (2023, mars 11). Nombre d'oxydation.
- wikipédia. (s.d.). *apprentissage*. Consulté le Fevrier 12, 2023

Wikipedia. (s.d.). Simulation informatique. Consulté le Mars 04, 2023, sur http://fr.m.wikipedia.org/wiki/simulation_informatique

Wikipédia. (s.d.). *Techno-Science.net*. Récupéré sur <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Enseignement.html>

Ziv et Frye. (2004). children's understanding of teaching: the role of knowledge and belief. Dans *cognitive development* (Vol. 19, pp. 457 - 477).

ANNEXES

Annexe 1 : autorisation de recherche de la faculté des sciences de l'éducation

RÉPUBLIQUE DU CAMEROÛN
Paix – Travail – Patrie

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I

FACULTÉ DES SCIENCES DE
L'ÉDUCATION

DÉPARTEMENT DE DIDACTIQUE DES
DISCIPLINES



REPUBLIC OF CAMEROON
Peace – Work – Fatherland

THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

THE FACULTY OF EDUCATION

DEPARTMENT OF DIDACTICS

Le Doyen
The Dean
N° 485.../23 / UYI / FSE / DID

AUTORISATION DE RECHERCHE

Je soussigné, **Pr. BELA Cyrille Bienvenu**, *Doyen de la Faculté des Sciences de l'Éducation*, atteste que l'étudiant **MFOUAPON MOULIOM Hassan**, Matricule **19Y3461**, est inscrit (e) en **Master II** au Département de Didactique des disciplines, Option : **DIDACTIQUE DE CHIMIE**.

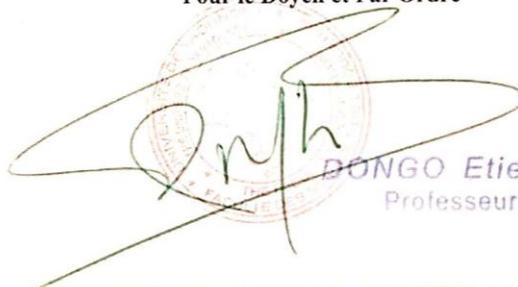
L'intéressé doit effectuer des travaux de recherche en vue de la préparation de son diplôme de Master. Il travaille sous la direction de **Pr. DONGO Etienne** et **Pr. AYINA BOUNI**. Son sujet est intitulé : « **Enseignement-apprentissage de la chimie en classe de première scientifique au Cameroun : construction du concept de nombre d'oxydation par la simulation numérique comme mode de transposition didactique** »

Je vous serai gré de bien vouloir le recevoir pour la recherche et mettre à sa disposition toutes les informations susceptibles de l'aider dans son travail.

En foi de quoi la présente autorisation lui est délivrée pour servir et valoir ce que de droit. /-

Fait à Yaoundé, le **22 MAI 2023**.....

Pour le Doyen et Par Ordre


DONGO Etienne
 Professeur

Annexe 2 : autorisation de la faculté maquée de l'approbation du Proviseur du Lycée de Ngoa-Ekellé.

RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN
Paix – Travail – Patrie
UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I
FACULTÉ DES SCIENCES DE
L'ÉDUCATION
DÉPARTEMENT DE DIDACTIQUE DES
DISCIPLINES



REPUBLIC OF CAMEROON
Peace – Work – Fatherland
THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I
THE FACULTY OF EDUCATION
DEPARTMENT OF DIDACTICS

25 MAI 2023

Un le 25/05/2023

Le Doyen
The Dean

N° 485.../23 / UYI / FSE / DID



AUTORISATION DE RECHERCHE

PLEG / Hors - Echelle

Je soussigné, Pr. BELA Cyrille Bienvenu, Doyen de la Faculté des Sciences de l'Education, atteste que l'étudiant MFOUAPON MOULIOM Hassan, Matricule 19Y3461, est inscrit (e) en Master II au Département de Didactique des disciplines, Option : DIDACTIQUE DE CHIMIE.

L'intéressé doit effectuer des travaux de recherche en vue de la préparation de son diplôme de Master. Il travaille sous la direction de Pr. DONGO Etienne et Pr. AYINA BOUNI. Son sujet est intitulé : « Enseignement-apprentissage de la chimie en classe de première scientifique au Cameroun : construction du concept de nombre d'oxydation par la simulation numérique comme mode de transposition didactique »

Je vous serai gré de bien vouloir le recevoir pour la recherche et mettre à sa disposition toutes les informations susceptibles de l'aider dans son travail.

En foi de quoi la présente autorisation lui est délivrée pour servir et valoir ce que de droit. /-

Fait à Yaoundé, le 22 MAI 2023

Pour le Doyen et Par Ordre

DONGO Etienne
Professeur

Annexe 3 : questionnaire de recherche.

QUESTIONNAIRE

I. Identifiant du répondant :

Nom et Prénom :
 Age : Sexe : Classe : Série :

II. Questions

Consigne : encercler la lettre de la réponse juste à la question posée.

NB : chaque question a une seule réponse juste.

Pour les questions allant de numéro 5 au numéro 8, vous pourriez avoir besoin des données suivantes :

- Eléments classés en ordre d'électronégativité croissant : $H < Cu < Fe < N < S < Cl < O < F$
- Structure de Lewis : Cu_2O : $Cu - \overset{\ominus}{O} - Cu$; O_2F_2 : $\overset{\ominus}{F} - \overset{\ominus}{O} - \overset{\ominus}{O} - \overset{\ominus}{F}$; Cl_2 : $|\overset{\ominus}{Cl} - \overset{\ominus}{Cl}|$;
 H_2O_2 : $H - \overset{\ominus}{O} - \overset{\ominus}{O} - H$; Fe_3O_4 : $\overset{\ominus}{Fe} - \overset{\ominus}{O} - \overset{\ominus}{Fe} - \overset{\ominus}{O} - \overset{\ominus}{Fe} - \overset{\ominus}{O} - \overset{\ominus}{Fe} - \overset{\ominus}{O} - \overset{\ominus}{Fe}$; ClO^- : $|\overset{\ominus}{Cl} - \overset{\ominus}{O}|^-$; O_2 : $\overset{\ominus}{O} = \overset{\ominus}{O}$; H_2O : $H - \overset{\ominus}{O} - H$

Question 1 : Définir oxydoréduction.

- a) C'est une réaction chimique au cours de laquelle il y'a transfert d'électrons entre deux éléments chimiques.
- b) C'est une réaction chimique au cours de laquelle il y'a transfert de protons entre deux éléments chimiques.
- c) C'est une réaction chimique au cours de laquelle le nombre d'oxydation d'un seul élément chimique diminue.
- d) C'est une réaction chimique au cours de laquelle un élément chimique perd un ou plusieurs électrons
- e) Autre (*à préciser*) :

Question 2 : Définir oxydation.

- a) C'est une réaction chimique au cours de laquelle un élément chimique gagne ou perd un ou plusieurs électrons.
- b) C'est une réaction chimique au cours de laquelle un élément chimique gagne un ou plusieurs électrons.
- c) C'est une réaction chimique au cours de laquelle un élément chimique perd un ou plusieurs électrons.
- d) C'est une réaction chimique au cours de laquelle le nombre d'oxydation d'un élément chimique diminue.
- e) Autre (*à préciser*) :

Question 6 : le nombre d'oxydation de l'élément Flore (F) dans la molécule O_2F_2 est :

- a) +I
- b) -I
- c) +II
- d) Autre (à préciser)

Justifier votre choix :

.....

.....

.....

.....

Question 7 : Parmi les équations bilans suivantes, quelle est celle qui traduit une réaction d'oxydoréduction.

- a) $C_2H_4 + H_2 \rightarrow C_2H_6$
- b) $NH_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl$
- c) $2Cl^- + O_2 \rightarrow 2ClO^-$
- d) $H_2SO_4 + 2H_2O \rightarrow SO_4^{2-} + 2H_3O^+$

Justifier votre choix :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Question 8 : Déterminer le nombre d'oxydation de l'élément chimique Fer (Fe) dans la molécule Fe_3O_4 .

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Annexe 4 : Programme de chimie en classe de Première scientifique Cameroun.

RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN
Paix - Travail - Patrie

REPUBLIC OF CAMEROON
Peace - Work - Fatherland

MINISTÈRE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRES
MINISTRY OF SECONDARY EDUCATION

INSPECTION GÉNÉRALE DES ENSEIGNEMENTS
INSPECTORATE GENERAL OF EDUCATION

PROGRAMMES D'ÉTUDES DES CLASSES DE 1^{ères} E, TI, C & D : CHIMIE



Observer son environnement pour mieux orienter ses choix de formation et réussir sa vie

Janvier 2020

MINISTÈRE DES ENSEIGNEMENTS
SECONDAIRES

RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN
Paix-Travail-Patrie

ARRÊTÉ N° 09/20 /MINESEC DU 24 JAN 2020

Portant définition des programmes d'études des classes de Première, Lower and Upper Sixth de l'Enseignement Secondaire Général

LE MINISTRE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRES

- Vu la Constitution ;
- Vu la loi N° 98/004 du 14 avril 1998 d'Orientation de l'Éducation au Cameroun ;
- Vu le décret N° 2012/267 du 11 juin 2012 portant organisation du Ministère des Enseignements Secondaires ;
- Vu le décret N° 2011 du 09 décembre 2011 portant organisation du Gouvernement modifié et complété par le décret N° 2018/190 du 02 mars 2018 ;
- Vu le décret N° 2018/191 du 02 mars 2018 portant réaménagement du Gouvernement modifié et complété par le décret N° 2019/002 du 04 janvier 2019,

ARRÊTE :

Article 1^{er} : les programmes d'études des classes de Première, Lower and Upper Sixth de l'Enseignement Secondaire Général sont définis ainsi qu'il suit :

PRÉFACE

DES PROGRAMMES DES CLASSES DE PREMIÈRE, LOWER AND UPPER SIXTH DE L'ENSEIGNEMENT GÉNÉRAL

L'amélioration quantitative et qualitative de l'éducation constitue une préoccupation permanente pour l'État camerounais soucieux d'atteindre son émergence à l'Horizon 2035. Ainsi, en accord avec les Objectifs du Développement Durable (ODD), le Document de Stratégie pour la Croissance et l'Emploi (DSCE) et le Document de Stratégie du Secteur de l'Éducation et de la Formation (DSSEF), le Ministère des Enseignements Secondaires s'est engagé dans une réforme curriculaire depuis plus d'une décennie. Cette réforme, qui s'est traduite par la mise en œuvre des nouveaux programmes d'études du premier cycle selon l'Approche Par les Compétences (APC) avec entrée par les situations de vie, se poursuit avec la réécriture des programmes d'études des classes de Seconde et maintenant de Première, Lower and Upper Sixth. Celle-ci répond à un certain nombre d'impératifs :

- (i) Poursuivre les enseignements selon l'Approche par les Compétences, avec le souci de continuer à offrir à un maximum de jeunes Camerounais une formation de qualité ;
- (ii) Participer activement à l'ouverture des jeunes du secondaire (à la citoyenneté mondiale, aux nouvelles technologies) l'insertion sociale et à la possibilité de poursuivre, plus tard, des études supérieures.

La réécriture des programmes d'études des classes de Première de l'enseignement général vient à cet effet consolider les acquis de la vision de l'école camerounaise telle que définie dans la Loi d'Orientation de l'éducation au Cameroun et mise en œuvre à travers l'Approche Par les Compétences. Elle traduit également la volonté de s'arrimer aux orientations des deux documents de pilotage que sont le Document de Stratégie pour la Croissance et l'Emploi (DSCE) et le Document de Stratégie du Secteur de l'Éducation et de la Formation (DSSEF).

Il s'agit donc de mieux outiller les apprenants en termes de ressources nécessaires (savoirs fondamentaux, savoir-faire, savoir-être, savoir-dire, etc.), au développement optimal des compétences attendues au sortir du secondaire, et nécessaires la poursuite des études dans le supérieur.

Tout en félicitant, une fois de plus, toute l'équipe de concepteurs de ces programmes, j'invite vivement tous les membres de la communauté éducative, notamment les enseignants, cheville ouvrière de la pédagogie, à s'approprier davantage les fondements conceptuels et opérationnels de l'Approche par les Compétences considérée comme le paradigme choisi pour la mise en œuvre des nouveaux programmes au Cameroun.



RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN
Paix - Travail - Patrie
MINISTÈRE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRES
INSPECTION GÉNÉRALE DES ENSEIGNEMENTS
INSPECTION DE PÉDAGOGIE / SCIENCES

REPUBLIC OF CAMEROON
Peace - Work - Fatherland
MINISTRY OF SECONDARY EDUCATION
INSPECTORATE GENERAL OF EDUCATION
INSPECTORATE OF PEDAGOGY / SCIENCES

DOMAINE D'APPRENTISSAGE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

PROGRAMME D'ÉTUDE : CHIMIE

NIVEAU : PREMIERE

SERIES : C ET D

VOLUME HORAIRE ANNUEL : 50 HEURES

VOLUME HORAIRE HEBDOMADAIRE : 2 HEURES

COEFFICIENT : 2

1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROGRAMME D'ÉTUDE

Le nouveau programme de chimie vise à donner aux élèves du cycle secondaire la possibilité de développer leur culture scientifique et leurs compétences dans un environnement où ils seront de plus en plus amenés à faire des choix dans les situations où ils seront engagés ou qui engagent leur environnement. Il vise aussi, à les familiariser avec la méthode scientifique d'une façon accessible et simple, à travers le travail en groupe et l'expérimentation. Ce programme permettra une bonne assimilation des concepts de chimie liés à des applications technologiques ou à des phénomènes de la vie quotidienne, à la santé et à l'environnement.

Le nouveau programme, qui est dans le prolongement de celui de la classe de 2ndC, permet à l'enseignant de mieux jouer son rôle de facilitateur auprès des apprenants. Il a pour but principal de faciliter un ancrage des connaissances devant permettre aux apprenants de développer des compétences leur permettant :

- de communiquer à l'écrit et à l'oral sur des phénomènes scientifiques de leur environnement ;
- de comprendre et d'expliquer des phénomènes naturels ;
- de résoudre les problèmes que ces derniers posent dans leurs domaines de vie ;
- de résoudre les problèmes disciplinaires ;
- de sauvegarder et gérer durablement leur environnement ;
- de mettre en œuvre des processus d'acquisition des connaissances ;
- d'implémenter la démarche scientifique et la démarche technologique.

Le programme d'étude de chimie comporte deux (02) modules dont les durées sont les suivantes:

N°	INTITULE DU MODULE	DURÉE
1	CHIMIE ORGANIQUE	24 heures
2	OXYDOREDUCTION	26 heures

Chacune de ces durées comporte les cours, les travaux pratiques et les travaux d'entraînement à la mise en œuvre des acquis dans la résolution d'exercices ou de problèmes.

2. SITUATION DU PROGRAMME D'ÉTUDE DANS LE CURRICULUM

Le développement des compétences scientifiques et technologiques deviennent de nos jours nécessaires à tous les citoyens en général et aux jeunes en particulier. Il permet de conduire les ruptures, les changements et les sauts qualitatifs dont l'économie camerounaise a besoin pour fonder son essor sur le savoir et l'innovation.

Fort de ce constat, le curriculum de l'enseignement secondaire camerounais accorde à l'étude de la discipline Chimie un volume horaire hebdomadaire de deux (02) heures pour un coefficient de deux (2) au niveau des classes de Premières C et D. Ce programme se fera en cinquante (50) heures en une année scolaire.

3. CONTRIBUTION DU PROGRAMME D'ÉTUDE AU DOMAINE D'APPRENTISSAGE

Dans une perspective de formation intégrée, il est difficile de dissocier les apprentissages effectués en chimie et ceux des autres disciplines du même domaine d'apprentissage. La chimie se présente comme le champ d'expérimentation et d'application des résultats théoriques obtenus en mathématiques et en informatique.

Toute discipline scolaire a sa raison d'être essentiellement par sa manière de concevoir le réel et d'y intervenir, voire par le regard particulier qu'elle porte sur le monde. Pour son fonctionnement, elle a besoin d'éclairages complémentaires qui peuvent être apportés par d'autres disciplines. Toutefois, elle peut à son tour éclairer ces dernières. Donc, il n'est pas question de dissocier les apprentissages à réaliser en chimie de ceux effectués ailleurs, non seulement dans les disciplines du domaine des sciences et de la technologie, mais plutôt dans toutes les disciplines scolaires.



La chimie, la physique, les SVTEEB et la technologie sont complémentaires par les nombreux concepts qu'elles ont en commun. Pour comprendre l'univers vivant (les êtres vivants) auxquels s'intéressent les SVTEEB, il faut avoir un socle minimum de connaissances sur l'univers matériel (atomes, molécules, ions). Pour comprendre le monde qui nous entoure, la chimie s'appuie souvent sur les progrès en technologie, progrès qui sont eux-mêmes le fruit d'une exploitation efficace et efficiente de concepts, de lois et de théories de l'ordre de la chimie.

Pour l'étude de la chimie, on a besoin d'outils mathématiques (calculs ; notions de géométrie ; analyse ; modélisation ; représentations graphiques...). D'autre part, on a besoin de connaissances langagières, connaissances qu'apporte l'étude de la langue française.

En chimie, les connaissances liées à l'air, à l'eau et aux réactions chimiques par exemple peuvent servir à l'étude de l'effet de serre et des climats en géographie.

Quant à la philosophie, elle peut favoriser le développement de l'esprit critique en chimie.

4. CONTRIBUTION DU PROGRAMME D'ÉTUDE AUX DOMAINES DE VIE

- Dans la vie sociale et familiale, le programme d'étude va accroître le développement des compétences de vie courante et apporter des moyens techniques et technologiques qui concourent à l'amélioration du quotidien de chaque citoyen ;
- Dans la vie économique, ses applications vont permettre de produire quantitativement et qualitativement des biens de consommation ;
- Dans le domaine de l'environnement, les compétences développées par l'apprenant seront réinvesties pour la protection et le respect de l'environnement et de la biodiversité ;
- Dans le domaine des médias, la chimie, par son objet d'étude, peut d'une part contribuer à la production des appareils facilitant les échanges d'informations (ordinateurs, satellites, téléphones, télévision, papiers, encres, photocopieurs...) et d'autre part en améliorer l'utilisation ;
- Dans le domaine de la citoyenneté, ce programme à travers les différentes activités d'apprentissage qu'il offre à l'apprenant, va faire de lui un citoyen capable :
 - o d'œuvrer dans un esprit de solidarité, de justice, de tolérance et de paix ;
 - o de développer le sens de l'autonomie et de la responsabilité ;
 - o d'observer, d'analyser et de synthétiser ;
 - o de s'insérer dans la vie professionnelle ;
 - o de poursuivre des études supérieures en sciences dans le domaine général ou technologique.

5. PRÉSENTATION DE L'ENSEMBLE DES FAMILLES DE SITUATIONS COUVERTES PAR LE PROGRAMME D'ÉTUDE

N°	THÈMES / MODULES	FAMILLES DE SITUATIONS
I	Chimie organique	Utilisation des composés organiques
II	Oxydoréduction	Prévision des réactions d'oxydoréduction

6. TABLEAU SYNOPTIQUE DES MODULES DU PROGRAMME D'ÉTUDE

TITRES DES MODULES	CATEGORIES D'ACTION	DUREE(HEURES)
Chimie organique	Réactivité et synthèse des hydrocarbures	12
	Caractérisation de quelques composés oxygénés	7
	Réactivité et synthèse des composés aromatiques	5
Oxydoréduction	Identification des réactions d'oxydoréduction en solution aqueuse	8
	Classification des couples oxydant-réducteur	4
	Exploitation des couples oxydant-réducteur	4
	Réalisation des dosages d'oxydoréduction	4
	Réalisation des transformations chimiques forcées	2
	Utilisation des nombres d'oxydation	4

7. PROFIL DE L'APPRENANT AU TERME DE LA CLASSE DE TERMINALE

À la fin de la classe de Terminale, les contenus (enseignement/apprentissage) doivent répondre à deux objectifs essentiels :

- préparer l'élève à poursuivre des études supérieures dans des filières où la chimie est présente ;
- faciliter son insertion dans le milieu professionnel.

Ce programme permet donc au jeune camerounais :

- d'avoir une ouverture d'esprit vers le monde tout en restant enraciné à sa culture ;
- d'être assez épanoui afin de jouer pleinement sa citoyenneté scientifique dans la résolution des problèmes inhérents non seulement à sa vie au quotidien, mais également à sa discipline. Sur ce, il vise :
 - l'utilisation des éléments fondamentaux de culture scientifique pour une bonne compréhension de l'évolution technologique et de l'environnement ;
 - l'exploitation des méthodes et des connaissances scientifiques pour la production des biens et services ;
 - l'acquisition et la manifestation des comportements qui améliorent les conditions de vie des individus au plan sanitaire, alimentaire...

À la fin de la classe de première C ou D, l'élève doit maîtriser des compétences strictement disciplinaires. Il doit être également capable d'utiliser des compétences liées à la langue française, au langage mathématique, à l'expérimentation, à la démarche scientifique et aux technologies de l'information et de la communication (TIC).

À partir d'un problème relatif à une des familles de situations suivantes :

- 1- Utilisation des composés organiques;
- 2- Prévion des réactions d'oxydoréduction

L'élève devra être capable d'identifier le problème afin de le mettre en relation avec les notions acquises ; il devra également proposer une démarche pour résoudre ce problème en effectuant si possible une expérience, tout en se souciant des implications pour sa sécurité et sur l'environnement.

MODULE 1 : CHIMIE ORGANIQUE

VOLUME HORAIRE ALLOUÉ AU MODULE : 24 HEURES

Présentation du module

Ce module comporte quatre (04) parties :

- > Les alcanes
- > Les alcènes et les alcynes
- > Les composés oxygénés (alcools, aldéhydes, cétones)
- > Les composés aromatiques

Contribution du module à la finalité et aux buts curriculaires

Ce module poursuit l'étude déjà commencée en classe de seconde C où l'apprenant a acquis des connaissances sur les substances organiques et leur importance dans notre environnement ainsi que sur les méthodes d'analyse qualitative et quantitative d'une substance organique. L'apprenant va poursuivre l'étude de la chimie organique par l'étude de quelques hydrocarbures (alcanes, alcènes, alcynes), celle des principaux composés oxygénés (alcools, aldéhydes, cétones) et des composés aromatiques (benzène et ses dérivés). Le but de cette étude étant de lui permettre de s'initier à la nomenclature et de se familiariser avec les formules développées. Le module donne en outre l'occasion d'étudier la réactivité et la synthèse des composés organiques.

Contribution du module au programme d'étude et aux domaines de vie

Pour permettre à l'apprenant d'améliorer sa relation avec le monde matériel, dans ce module, l'enseignant va l'inciter à s'appuyer sur ses capacités à lire, à calculer, à interpréter et à résoudre des problèmes et des tâches qui sont sélectionnés, permettant de donner du sens à l'apprentissage.

Pour cela, il aura besoin des langues (français, anglais), des mathématiques et de la physique.

Dans ce module, l'apprenant devra prendre des décisions qui engagent sa santé et son environnement physique et social (utilisation et production de biens).

CADRE DE CONTEXTUALISATION		AGIR COMPÉTENT		RESSOURCES			
Famille de situations	Exemples de situations	Catégories d'actions	Exemples d'actions	Savoirs	Savoir-faire	Savoir-être	Autres ressources
Utilisation des composés organiques	Utilisation du butane	Réactivité et synthèse des hydrocarbures	Identifier la structure d'un alcane Réaliser la combustion du	1- Les alcanes 1.1- Structure des alcanes - Exemples : le méthane et l'éthane - Carbone tétraédrique - Représentation spatiale - Conformation. - Généralisation à la chaîne carbonée des alcanes Exemples de cycloalcanes 1.2- Formule générale, formules développées et semi-développées, isomérisie ; règle de nomenclature des alcanes. 1.3- Propriétés physiques	- Représenter géométriquement les alcanes en utilisant des modèles moléculaires - Réaliser les modèles moléculaires possibles des alcanes de formules brutes C_nH_{2n+2} avec $n \leq 5$ - Écrire les formules semi-développées et développées des alcanes et les nommer - Réaliser la combustion d'alcane dans le dioxygène, dans le dichlore. - Écrire les équations des	La curiosité et le sens de l'observation ; - Le respect des avis des autres ; - L'ouverture d'esprit ; - L'esprit d'équipe, de coopération ; - Prise de décision et esprit critique ;	modèles moléculaires

CADRE DE CONTEXTUALISATION		AGIR COMPÉTENT		RESSOURCES			
Famille de situations	Exemples de situations	Catégories d'actions	Exemples d'actions	Savoirs	Savoir-faire	Savoir-être	Autres ressources
			butane Réaliser la réaction de substitution d'un alcane par un halogène Préparer le méthane au laboratoire	1.4- Propriétés chimiques : - Réactions de destruction (combustion) - Réactions de substitution : halogénéation - Importance de quelques dérivés halogénés des alcanes 1.5- Préparation du méthane au laboratoire	réactions de substitution d'un alcane par un halogène (dichlore ou dibrome). - Décrire et schématiser le dispositif expérimental pour obtenir le méthane à partir du carbure d'aluminium		
Utilisation des composés organiques	Utilisation de l'acétylène	Réactivité et synthèse des hydrocarbures	Caractériser les alcènes et les alcyne Réaliser des réactions d'addition des alcènes Réaliser des réactions de polymérisation	2- Les alcènes et les alcyne. 2.1- Structure des alcènes et des alcyne - Exemple de l'éthylène - Exemple de l'éthyne - Carbone digonal et carbone trigonal - Représentation spatiale. - Configuration 2.2- Formules générales, formules développées et semi-développées ; règle de nomenclature des alcènes et des alcyne, isomérisation Z et E 2.3- Propriétés chimiques : - Combustion - Réactions d'addition : hydrogénation, hydratation, addition du chlorure d'hydrogène, addition des dihalogènes (dichlore et dibrome) dans le cas des alcènes. - Règle de Markovnikov - Réaction de polymérisation 2.4- Préparation de l'acétylène au laboratoire	- Représenter géométriquement les alcènes et les alcyne en utilisant des modèles moléculaires - Écrire les formules semi-développées et développées des alcènes et alcyne et les nommer - Écrire les équations des réactions d'addition et des réactions de polymérisation - Décrire et schématiser le dispositif expérimental pour obtenir l'acétylène au laboratoire		modèles moléculaires pictogrammes
Utilisation des composés organiques	Utilisation de l'éthanol	Caractérisation des composés oxygénés	Identifier les groupes fonctionnels des composés oxygénés à partir de leur	3- Les composés oxygénés 3.1- Généralités - Définitions - Identification des groupes fonctionnels - Structures des alcools, aldéhyde,	Nommer un alcool, un éther-oxyde, un aldéhyde, une cétone - Distinguer les trois classes d'alcool par leurs formules développées.		

CADRE DE CONTEXTUALISATION		AGIR COMPÉTENT		RESSOURCES			
Famille de situations	Exemples de situations	Catégories d'actions	Exemples d'actions	Savoirs	Savoir-faire	Savoir-être	Autres ressources
			formule. Différencier une fonction aldéhyde et une fonction cétone	cétone - Formule générale - Formule brute - Nomenclature - Isomérisation : les trois classes d'alcools 3.2-propriétés physiques -Exemples de polyalcool (glycol et glycérol) 3.3-Tests des aldéhydes et cétones -Action de la DNP -Action du réactif de Schiff, -Action de la liqueur de Fehling), -Action du réactif de Tollens	- Expliquer la relation entre les propriétés physiques (température de fusion, d'ébullition, solubilité, ...) et la structure moléculaire des alcools - Distinguer les aldéhydes des cétones par des tests à la 2,4 DNP, au réactif de Schiff et à la liqueur de Fehling - Écrire les équation- bilans des réactions		
Utilisation des composés organiques	Préparation du TNT Préparation d'un insecticide (1,2,3,4,5,6-hexachlorocyclohexane)	Réactivité des composés aromatiques	Préparer le toluène à partir du benzène Réaliser l'action du toluène sur l'acide nitrique fumant Interpréter des logos de danger des composés aromatiques	4 Les composés aromatiques, 4-1- Structure Exemple du benzène : Géométrie de la molécule, électrons délocalisés -Le noyau benzénique, sa représentation symbolique - Exemples de composés aromatiques 4-2- Propriétés chimiques -Combustion -Réaction d'addition : dihydrogène et dichlore -Réaction de substitution : Halogénéation, nitration, sulfonation, réaction de Friedel et Crafts	- Interpréter les propriétés spécifiques du benzène par la particularité de sa structure. - Représenter quelques molécules, à l'aide des modèles moléculaires. - Donner les noms des trois dérivés disubstitués du benzène. - Citer quelques composés à noyau aromatique - Nommer les composés aromatiques. - Écrire les équation-bilan des différentes réactions d'addition et de substitution sur le benzène	Prendre des mesures de sécurité pour la manipulation du benzène et des dérivés nitrés.	modèles moléculaires pictogrammes

MODULE 2 : OXYDOREDUCTION

VOLUME HORAIRE ALLOUE AU MODULE : 26 HEURES

Présentation du module:

Ce module comporte cinq (05) parties à savoir :

- Généralités sur l'oxydoréduction en solution aqueuse
- Notion de couple oxydant-réducteur et classification électrochimique.
- Piles
- Généralisation de la notion d'oxydoréduction
- Oxydoréduction par voie sèche

Contribution du module à la finalité et aux buts curriculaires:

Ce module s'ouvre sur l'étude de l'oxydoréduction en solution aqueuse comme transfert d'électrons et se ferme sur l'oxydoréduction par voie sèche. Cette étude permettra à l'apprenant d'utiliser une classification électrochimique afin de réaliser des piles, de prévoir le sens d'une réaction naturelle entre deux couples rédox, de se familiariser avec le principe d'un dosage d'oxydoréduction et d'équilibrer les équations-bilan des réactions d'oxydoréduction. En outre, cette étude lui permettra aussi de s'initier à l'utilisation des nombres d'oxydation dans l'oxydoréduction par voie sèche et d'acquérir des connaissances sur les transformations chimiques forcées.

Contribution du module au programme d'étude et aux domaines de vie:

Les contenus du présent module, objectif sur le renforcement des capacités des apprenants à la recherche et à l'intégration dans leur milieu social. Par ailleurs, ce module permettra l'acquisition et la consolidation des savoirs, des savoir-faire et savoir-être relatifs à l'oxydoréduction. Ces ressources seront mobilisées dans des activités d'intégration afin de résoudre des situations problèmes au quotidien. Le transfert de ces contenus scientifiques intégrera la mathématique, la géographie, l'informatique etc.

CADRE DE CONTEXTUALISATION		AGIR COMPÉTENT		RESSOURCES			
Famille de situations	Exemples de situations	Catégories d'actions	Exemple d'actions	Savoirs	Savoir-faire	Savoir-être	Autres ressources
Prévision des réactions chimiques	Identification d'un métal	Identification des réactions d'oxydoréduction en solution aqueuse ; Mise en évidence de quelques espèces chimiques	Réaliser l'oxydation d'un métal Réaliser la réduction d'un ion métallique	1-Généralité sur l'oxydoréduction en solution aqueuse -Action d'un acide sur un métal - Réaction entre un ion métallique et un métal - Définitions : oxydation, réduction, oxydant, réducteur, oxydoréduction	-Expériences : Réaliser l'action des acides chlorhydriques et sulfurique diluée sur les métaux (zinc, fer, cuivre, aluminium, argent, or ...) -Ecrire les demi-équations électroniques et l'équation-bilan. -Réaliser l'action du zinc ou du fer sur les ions métalliques (Cu ²⁺ , Zn ²⁺ , Fe ²⁺ ,.....)	- La curiosité et le sens de l'observation ; - Le respect des avis des autres ; - L'ouverture d'esprit ;	

CADRE DE CONTEXTUALISATION		AGIR COMPÉTENT		RESSOURCES			
Famille de situations	Exemples de situations	Catégories d'actions	Exemple d'actions	Savoirs	Savoir-faire	Savoir-être	Autres ressources
Prévision des réactions chimiques	Réalisation d'une pile électrochimique Détermination d'une f.é.m.	Classification des couples oxydant-réducteur Exploitation des couples oxydant-Réducteur	Utiliser une classification qualitative et quantitative des couples oxydant-réducteur -Mesurer les potentiels d'oxydoréduction - Interpréter une équation-bilan de fonctionnement d'une pile Exploiter une équation-bilan d'oxydoréduction	2-Notion de couple oxydant-réducteur et classification électrochimique. 2.1-Notion de couple oxydant-réducteur 2.2-Classification électrochimique 3- Piles Exemple pile Daniell - demi-pile, polarité et caractéristiques, notation conventionnelle, Schéma : -Demi-pile de référence (demi-pile à hydrogène) - Classification qualitative. Place du couple H ₂ O/H ₂ -Notion de potentiel d'oxydoréduction.Potentiel standard -Classification quantitative	-Réaliser des expériences de mise en évidence de quelques couples oxydant-réducteur - Réaliser des expériences mettant en jeu les couples Mn ⁺ /Mn et H ₂ O/H ₂ -Etablir une classification des couples oxydant-réducteur et placer le couple H ₂ O/H ₂ dans cette classification - A partir de la classification des couples, prévoir les réactions et déterminer la polarité et la f.é.m d'une pile. -Ecrire les équations aux électrodes et l'équation-bilan de fonctionnement de la pile. -Réaliser une pile et déterminer expérimentalement ses pôles et sa f.é.m	- L'esprit d'équipe, de coopération ; - Prise de décision et esprit critique ; - Pensée créatrice ; -Raisonnement logique ; Méthode dans l'action ; -Développement de l'habileté manuelle ;	
Ethylotest d'un conducteur Synthèse de l'eau de javel Obtention de l'aluminium Explication de la formation de la	Réalisation des dosages d'oxydoréduction Réalisation des transformations chimiques forcées	Réaliser une solution oxydante de permanganate de potassium Réaliser l'électrolyse de chlorure de sodium en solution aqueuse Réaliser une électrolyse à anode soluble	Doser une solution oxydante de permanganate de potassium Réaliser l'électrolyse de chlorure de sodium en solution aqueuse Réaliser une électrolyse à anode soluble	4-Généralisation de la notion d'oxydoréduction -potentiels normaux d'autres couples en solution aqueuse Application : -Dosage d'oxydoréduction	-Ecrire les demi-équations électroniques et les équations-bilan d'oxydoréduction avec les couples : MnO ₄ ⁻ /Mn ²⁺ , Cr ₂ O ₇ ²⁻ /Cr ³⁺ , NO ₃ ⁻ /NO, SO ₄ ²⁻ /SO ₂ , Fe ³⁺ /Fe ²⁺ , Cl ₂ /Cl ⁻ , S ₂ O ₈ ²⁻ /S ₂ O ₃ ²⁻ , I ₂ /I ⁻ -Identifier ces couples dans la classification -Schématiser et décrire le dispositif expérimental du dosage -Effectuer le dosage d'une solution d'ions Fe ²⁺ par une solution d'ions MnO ₄ ⁻ et savoir repérer le point d'équivalence. -Doser une solution de diiode par une solution d'ions S ₂ O ₃ ²⁻ -Ecrire les demi-équations puis l'équation bilan -La méthode étant donnée, effectuer d'autres dosages -Réaliser des électrolyses en solution	-Développement de l'habileté manuelle ; -Respect des règles de sécurité lors de l'utilisation de l'eau de javel, des antiseptiques et désinfectants usuels	- Verrerie (bêcher, fiole jaugée, éprouvette graduée Bec Bunsen, Indicateurs colorés, PapierpH, solutions acides et basiques de produits naturels,

CADRE DE CONTEXTUALISATION		AGIR COMPÉTENT		RESSOURCES			
Famille de situations	Exemples de situations	Catégories d'actions	Exemple d'actions	Savoirs	Savoir-faire	Savoir-être	Autres ressources
	rouille			-Réaction aux électrodes -Règle de prévision -Phénomène de surtension -Aspects quantitatifs de l'électrolyse -Corrosion et protection des métaux	aqueuse de HCl, NaCl, NaOH, CuSO ₄ -Indiquer le type de réaction au niveau de chaque électrode (oxydation anodique et réduction cathodique) - Appliquer les Règles de prévision pour l'écriture des réactions - Expliquer les phénomènes de surtension		
Prévision des réactions chimiques	Préparation de l'acide sulfurique	Utilisation des nombres d'oxydation	-Réaliser une combustion -Équilibrer une équation-bilan en utilisant les nombres d'oxydation	5-Oxydoréduction par voie sèche - Exemples de Combustions : du magnésium et du dihydrogène dans le dioxygène et le dichlore - Notion de nombre d'oxydation et son utilisation - Applications industrielles (sidérurgie, aluminothermie, préparation de l'acide nitrique et de l'acide sulfurique)	- Appliquer les règles conventionnelles à la détermination du nombre d'oxydation des éléments - Montrer qu'une réaction est une réaction d'oxydoréduction en utilisant les nombres d'oxydation - Utiliser les nombres d'oxydation pour équilibrer une réaction redox - Indiquer le principe des applications industrielles - Écrire les équation-bilan des réactions intervenant dans la préparation de l'acide sulfurique et nitrique	- L'esprit d'équipe, de coopération ; - Prise de décision et esprit critique ; - Pensée créatrice ; - Raisonnement logique ; Méthode dans l'action ; - Développement de l'habileté manuelle ;	

Article 2 : Les programmes visés à l'article premier ci-dessus entrent en vigueur à compter de la rentrée scolaire 2019-2020.

Article 3 : Sont abrogées toutes les dispositions antérieures contraires aux termes du présent arrêté.

Article 4 : L'Inspecteur Général des Enseignements, les Inspecteurs Coordonnateurs Généraux de Pédagogie, le Directeur de l'Office du Baccalauréat du Cameroun, les Délégués Régionaux et Départementaux des Enseignements Secondaires, les Secrétariats à l'Éducation des différents ordres d'enseignement Privé et Public, sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de la stricte application du présent arrêté qui sera enregistré, publié selon la procédure d'urgence, puis inséré au Journal Officiel en anglais et en français, et communiqué partout où besoin sera.

Fait à Yaoundé, le 12 JAN 2020

LE MINISTRE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRES

Ampliations :

- PM (ATCR)
- CAB/MINESEC
- SEESN
- IGE
- ICG(s)
- DAJ
- DESG
- DESTP
- DIR. OBC
- REGISTRAR GCE BOARD
- DRES
- DDES
- SECRÉTARIATS À L'ÉDUCATION
- CHEFS D'ÉTABLISSEMENT
- CHRONO/ARCHIVES

REPUBLIC OF CAMEROON
LE MINISTRE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRES
The Minister
Nsira Lyonga, Ph.D.

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE	I
DEDICACE	II
REMERCIEMENTS	III
LISTE DE FIGURES	IV
LISTE DE TABLEAUX.....	VI
SIGLES ET ABRÉVIATIONS.....	VII
LISTE DES ANNEXES.....	VIII
RÉSUMÉ	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCTION GENERALE.....	1
PARTIE 1 : CADRE THÉORIQUE DE L'ÉTUDE.....	4
CHAPITRE 1 : PROBLÉMATIQUE DE LA RECHERCHE.....	5
1.1. Contexte de l'étude.....	5
1.2. Formulation du problème	6
1.3. Question de recherche	8
1.4. Hypothèse de recherche.....	16
1.5. Objectif de recherche.....	16
1.6. Intérêt de la recherche.....	17
1.7. Délimitation de la recherche	18
CHAPITRE 2 : ETUDE CONCEPTUELLE.....	20
2.1. Etude historique et épistémologique du concept de nombre d'oxydation et de celle de la simulation numérique.....	20
2.2. La revue de la littérature.....	27
2.3. Analyse des difficultés.....	35
2.4. Analyse conceptuelle	39
2.5. Définitions des concepts.....	41
2.6. Les théories explicatives	42
PARTIE 2 : CADRE MÉTHODOLOGIQUE DE L'ÉTUDE.....	48
CHAPITRE 3 : MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE.....	49
3.1. Type de recherche	49

3.2. Approche méthodologique	49
3.3. Echantillon.....	50
3.4. Collecte de données	51
3.5. Analyse à priori du questionnaire	52
3.6. Expérimentation.....	58
CHAPITRE 4 : PRÉSENTATION ET ANALYSE DE RÉSULTATS	68
4.1. Présentation des résultats.....	68
4.2. Analyse des résultats.....	73
4.3. Vérification et validation de l'hypothèse.....	89
4.4. Discussion.....	91
4.5. Suggestions.....	92
CONCLUSION GENERALE.....	93
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE.....	95
ANNEXES	XI
TABLE DES MATIERES.....	XXIII