

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I

\*\*\*\*\*

CENTRE DE RECHERCHE ET DE  
FORMATION DOCTORALE EN SCIENCES  
HUMAINES, SOCIALES ET ÉDUCATIVES  
(CRFD /SHSE)

\*\*\*\*\*

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



THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

\*\*\*\*\*

POST GRADUATE SCHOOL FOR THE SOCIAL  
AND EDUCATIONAL SCIENCES

\*\*\*\*\*

DOCTORAL UNIT OF RESEARCH AND  
TRAINING IN SCIENCE OF EDUCATION AND  
EDUCATIONAL ENGINEERING

**DISPOSITIF D'EXPÉRIMENTATION PORTANT SUR LA  
SAPONIFICATION ET IMPACT SUR LA DISTINCTION  
DES NIVEAUX EMPIRIQUE, MACROSCOPIQUE,  
MICROSCOPIQUE ET SYMBOLIQUE/VISUALISATION  
DE LA CHIMIE**

*Thèse présentée en vue de l'obtention d'un Doctorat/ PhD en science de  
l'éducation/ didactique des disciplines*

*Spécialité : Didactique de la Chimie*

Présentée et soutenue le 10 Mai 2024

Par :

**NGUETCHO Eric Martial**

**Membres du jury**

<b>Qualité</b>	<b>Noms et prénoms</b>	<b>Université d'attache</b>
<b>Président</b>	DONGO Etienne <i>Professeur des Universités</i>	Université de Yaoundé 1
<b>Rapporteurs</b>	NKECK BIDIAS Renée Solange <i>Professeur des Universités</i>	Université de Yaoundé 1
	MOLVINGER-VERGER Karine <i>Chargée de Recherche,</i>	Institut Charles Gerhardt de Montpellier, CNRS
<b>Membres</b>	AZEBAZE Anatole Guy Blaise <i>Professeur des Universités</i>	Université de Douala
	ATCHADE Alex de Théodore <i>Professeur des Universités</i>	Université de Yaoundé 1
	AYINA BOUNI <i>Maitre de conférences</i>	Université de Yaoundé 1



## **AVERTISSEMENT :**

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

Par ailleurs, le Centre de Recherche et de Formation Doctorale en Sciences Humaines, Sociales et Educatives de l'Université de Yaoundé I n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans cette thèse ; ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur.

# SOMMAIRE

Sommaire .....	II
Remerciements .....	IV
Liste des graphiques.....	VI
Liste des figures .....	XIII
Liste des tableaux .....	XV
Liste des annexes .....	XVI
Résumé .....	XVII
Abstract .....	XVIII
Introduction générale.....	1
Première partie : Construction de la problématique.....	4
Chapitre 1 : Problématique de l'étude .....	5
Chapitre 2 : Cadre conceptuel. ....	18
Deuxième partie : Cadre théorique. ....	29
Chapitre 3 : Difficultés rencontrées par les apprenants au cours de la circulation entre les niveaux de savoir (revue de la littérature). ....	30
Chapitre 4 : La théorie des situations didactiques. ....	46
Chapitre 5 : La théorie des niveaux de savoir. ....	53
Troisième partie : Cadre méthodologique. ....	72
Chapitre 6 : Méthodologie de la recherche : l'ingénierie didactique. ....	73
Chapitre 7 : Méthodologie de collecte des données. ....	81
Chapitre 8 : Méthodologie de traitement des données.....	100
Quatrième partie : Analyses préalables et analyses <i>a priori</i> .....	113
Chapitre 9 : Les enquêtes préalables portant sur le programme de chimie de la section francophone du cameroun. ....	114
Chapitre 10 : Les appréhensions des enseignants sur les niveaux de savoir. ....	151
Chapitre 11 : Résultats et analyses <i>a priori</i> .....	162
Cinquième partie : Analyses <i>a posteriori</i> , comparaison des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> , discussion.....	204
Chapitre 12 : Résultats et analyses <i>a posteriori</i> . ....	205
Chapitre 13 : Comparaison des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> . ....	256
Chapitre 14 : Discussion des résultats. ....	327
Conclusion générale .....	337
Bibliographie.....	XVII
Annexes .....	XXVII

A  
MES PARENTS

## REMERCIEMENTS

Cette thèse aurait été impossible à réaliser sans la collaboration de nombreux enseignants de chimie, de chercheurs en didactique, sans oublier les amis et la famille.

Professeur NKECK BIDIAS Renée Solange, vous m'avez accueilli dans votre unité de recherche et de formation doctorale. Vous avez usé de votre temps pour m'initier à la recherche. Votre rigueur, patience et abnégation m'ont permis de m'intéresser à la recherche au fil du temps. Professeur, je vous remercie car vous m'avez fait confiance en me motivant par tous les moyens notamment à travers les multiples séminaires. Vous m'avez prodigué des conseils et outils pour ma recherche. Vous avez toujours répondu favorablement et opportunément à mes sollicitations, c'est certes la raison pour laquelle au département vous êtes surnommée « *la mère* » ou encore « *générale* ». Je vous remercie infiniment car vous avez développé mes capacités depuis ma sélection en master II. Une telle tâche ne saurait se réaliser sans le soutien du docteur Karine.

Docteur MOLVINGER-VERGER Karine, dès nos premiers contacts, j'avais tout de suite vu votre grand intérêt et votre motivation profonde à m'accompagner dans la réalisation de cette thèse. Je vous appelle souvent « professeur », mais retenez que c'était pour des raisons purement académiques, car c'est vous qui avez assumé ma naissance dans « le monde épistémologique de la didactique de la chimie ». Votre rigueur, patience et abnégation m'ont permis de gagner du terrain et d'apprendre énormément dans le temps de la formulation du présent travail. Votre esprit critique m'a permis de me remettre en cause et de rechercher ce qui est idéal. Votre rapidité dans la lecture de mes travaux me poussait à aller au-delà de mes possibilités dans un but ultime de réaliser un travail de qualité. Vous n'avez jamais cessé de m'encourager surtout par la fameuse phrase que je n'oublierai jamais : « *Martial je sais que tu peux* ». Vous vous êtes toujours rendue disponible pour mes préoccupations non seulement durant les jours de repos, mais aussi et surtout au moment opportun. Professeur, je vous remercie infiniment car vous m'avez tout donné. On n'oubliera pas le professeur LENTA

Professeur LENTA NDJAKOU Bruno, je vous remercie pour tous les enseignements que j'ai reçus de vous dès mon entrée à l'école normale supérieure de Yaoundé, et de l'encadrement durant mon Master. De manière spéciale, j'affirme que votre soutien collaboratif avec le professeur NKECK a sans doute permis d'introduire le Dr MOLVINGER-VERGER

dans l'équipe d'encadrement. Je vous remercie encore pour tout le soutien multiforme à mon égard.

Mon épouse NGANMOU Olivia Camelle, m'a soutenu dans les moments les plus difficiles.

Mes enfants, NGUETCHO DJONGA Lorena Pierre Prunille, et NGUETCHO Eric Martial James, je suis satisfait de votre présence affective.

La grande famille DJONGA, SEUKOU et NANA merci pour tout le soutien multiforme à mon égard.

Un clin d'œil spécial à tout le staff du lycée Bilingue de Nkol-éton pour sa franche collaboration, ainsi que celle du lycée technique bilingue de Nsam, en particulier aux enseignants du département de sciences physiques, qui m'ont remplacé n'ayant pas le don d'ubiquité : être présent en classe et observer les phénomènes didactiques pour des besoins de recherche. Je remercie également tous mes amis qui de près ou de loin, notamment, Steven WOUAMBA, Joel SIMEN TCHAPDA, qui ont participé volontiers à la réalisation du présent travail.

## LISTE DES GRAPHIQUES

Graphique 1 : Les appréhensions des enseignants sur le macroscopique.....	152
Graphique 2 : Les appréhensions des enseignants sur le microscopique.....	153
Graphique 3 : Les appréhensions des enseignants sur le symbolique.....	154
Graphique 4 : Place des niveaux de savoir dans le programme de chimie.....	155
Graphique 5 : Place des niveaux de savoir dans le programme de chimie.....	156
Graphique 6 : Place des niveaux de savoir dans le programme de chimie : justification des réponses. ....	156
Graphique 7 : Justification de la non prise en compte des niveaux de savoir dans l'enseignement. ....	157
Graphique 8 : Appréhension des enseignants sur l'expérimentation. ....	158
Graphique 9 : Place de l'expérimentation dans l'enseignement.....	158
Graphique 10 : Les atouts de l'expérimentation dans l'apprentissage. ....	159
Graphique 11 : Raisons explicatives à la question précédente. ....	160
Graphique 12 : Résultats de la première question pour l'ensemble des classes. ....	170
Graphique 13 : Résultats de l'exemple associé à la première question pour l'ensemble des classes.....	173
Graphique 14 : Résultats de la deuxième question pour l'ensemble des classes.....	177
Graphique 15 : Résultats de l'exemple associé à la deuxième question pour l'ensemble des classes.....	180
Graphique 16 : Résultats de la troisième question pour l'ensemble des classes. ....	183
Graphique 17 : Résultats de l'exemple associé à la troisième question pour l'ensemble des classes.....	186
Graphique 18 : Résultats de la quatrième question pour l'ensemble des classes. ....	190
Graphique 19 : Résultats de la cinquième question pour l'ensemble des classes. ....	193
Graphique 20 : Résultats de la sixième question pour l'ensemble des classes. ....	196
Graphique 21 : Résultats de la septième question pour l'ensemble des classes. ....	199
Graphique 22 : Résultats de la première question du post test pour l'ensemble des classes. .	206
Graphique 23 : Résultats de l'exemple associé à la première question du post test pour l'ensemble des classes. ....	209
Graphique 24 : Résultats de la deuxième question du post test pour l'ensemble des classes.	212

Graphique 25 : Résultats de l'exemple associé à la deuxième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	214
Graphique 26 : Résultats de la troisième question du post test pour l'ensemble des classes..	217
Graphique 27 : Résultats de la troisième question du post test pour l'ensemble des classes..	220
Graphique 28 : Résultats de la quatrième question du post test pour l'ensemble des classes.	223
Graphique 29 : Résultats de la cinquième question du post test pour l'ensemble des classes.	225
Graphique 30 : Résultats de la sixième question du post test pour l'ensemble des classes.....	228
Graphique 31 : Résultats de la septième question du post test pour l'ensemble des classes. .	232
Graphique 32 : Résultats de la huitième question du post test pour l'ensemble des classes...	238
Graphique 33 : Résultats de la neuvième question du post test pour l'ensemble des classes.	243
Graphique 34 : Résultats de la dixième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	248
Graphique 35 : Résultats de la onzième question du post test pour l'ensemble des classes. ...	253
Graphique 36 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale C expérimentale.....	256
Graphique 37 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale C théorique.....	257
Graphique 38 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D1 expérimentale. ....	258
Graphique 39 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D1 théorique. ....	259
Graphique 40 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D2 expérimentale. ....	260
Graphique 41 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D2 théorique. ....	261
Graphique 42 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale C expérimentale.....	262
Graphique 43 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale C théorique.....	263
Graphique 44 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D1 expérimentale. ....	264
Graphique 45 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D1 théorique. ....	265

Graphique 46 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D2 expérimentale. ....	266
Graphique 47 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D2 théorique. ....	267
Graphique 48 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale C expérimentale, concernant la deuxième question. ....	268
Graphique 49 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale C théorique, concernant la deuxième question. ....	269
Graphique 50 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D1 expérimentale, concernant la deuxième question. ....	269
Graphique 51 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D1 théorique, concernant la deuxième question. ....	270
Graphique 52 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D2 expérimentale, concernant la deuxième question. ....	271
Graphique 53 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D2 théorique, concernant la deuxième question. ....	272
Graphique 54 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale C expérimentale, concernant l'exemple associé à la deuxième question. ....	273
Graphique 55 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale C théorique, concernant l'exemple associé à la deuxième question. ....	274
Graphique 56 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D1 expérimentale, concernant l'exemple associé à la deuxième question. ....	275
Graphique 57 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D1 théorique, concernant l'exemple associé à la deuxième question. ....	276
Graphique 58 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D2 expérimentale, concernant l'exemple associé à la deuxième question. ....	277
Graphique 59 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D2 théorique, concernant l'exemple associé à la deuxième question. ....	278
Graphique 60 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale C expérimentale, concernant l'appréhension des élèves sur le symbolique. ...	279
Graphique 61 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a postériori</i> en classe de terminale C théorique, concernant l'appréhension des élèves sur le symbolique. ....	280

Graphique 62 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D1 expérimentale concernant l’appréhension des élèves sur le symbolique...	281
Graphique 63 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D1 théorique concernant l’appréhension des élèves sur le symbolique.....	282
Graphique 64 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D2 expérimentale concernant l’appréhension des élèves sur le symbolique...	283
Graphique 65: Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D2 théorique concernant l’appréhension des élèves sur le symbolique.....	284
Graphique 66 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale C expérimentale concernant l’appréhension des élèves sur l’exemple associé au symbolique.....	285
Graphique 67 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale C théorique concernant l’appréhension des élèves sur l’exemple associé au symbolique.....	286
Graphique 68 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D1 expérimentale concernant l’appréhension des élèves sur l’exemple associé au symbolique.....	286
Graphique 69 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D1 théorique concernant l’appréhension des élèves sur l’exemple associé au symbolique.....	287
Graphique 70 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D2 expérimentale concernant l’appréhension des élèves sur l’exemple associé au symbolique.....	288
Graphique 71 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D2 théorique concernant l’appréhension des élèves sur l’exemple associé au symbolique.....	289
Graphique 72 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale C expérimentale concernant la quatrième question.....	290
Graphique 73 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale C théorique concernant la quatrième question.....	291
Graphique 74 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D1 expérimentale concernant la quatrième question.....	292

Graphique 75 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D1 théorique concernant la quatrième question.....	293
Graphique 76 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D2 expérimentale concernant la quatrième question.....	294
Graphique 77 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D2 théorique concernant la quatrième question.....	295
Graphique 78 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale C expérimentale concernant la cinquième question.....	296
Graphique 79 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale C théorique concernant la cinquième question.....	297
Graphique 80 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D1 expérimentale concernant la cinquième question. ....	298
Graphique 81 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D1 théorique concernant la cinquième question.....	299
Graphique 82 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D2 expérimentale concernant la cinquième question. ....	300
Graphique 83 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D2 théorique concernant la cinquième question. ....	301
Graphique 84 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale C expérimentale concernant la sixième question.....	302
Graphique 85 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale C théorique concernant la sixième question.....	303
Graphique 86 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D1 expérimentale concernant la sixième question. ....	304
Graphique 87 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D1 théorique concernant la sixième question. ....	305
Graphique 88 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D2 expérimentale concernant la sixième question. ....	306
Graphique 89 : Rappel des résultats des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> en classe de terminale D2 théorique concernant la sixième question. ....	306
Graphique 90 : Comparaison des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> concernant la septième question pour la classe de terminale C expérimentale. ....	308

Graphique 91 : Comparaison des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> concernant la septième question pour la classe de terminale C théorique. ....	309
Graphique 92 : Comparaison des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> concernant la septième question pour la classe de terminale D1 expérimentale.....	310
Graphique 93 : Comparaison des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> concernant la septième question pour la classe de terminale D1 théorique.....	311
Graphique 94 : Comparaison des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> concernant la septième question pour la classe de terminale D2 expérimentale.....	312
Graphique 95 : Comparaison des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> concernant la septième question pour la classe de terminale D2 théorique.....	313
Graphique 96 : Comparaison des analyses <i>a posteriori</i> concernant la huitième question pour les classes de terminale C.....	314
Graphique 97 : Comparaison des analyses <i>a posteriori</i> concernant la huitième question pour les classes de terminale D1.....	315
Graphique 98 : Comparaison des analyses <i>a posteriori</i> concernant la huitième question pour les classes de terminale D2.....	316
Graphique 99 : Comparaison des analyses <i>a posteriori</i> concernant la neuvième question pour les classes de terminale C.....	317
Graphique 100 : Comparaison des analyses <i>a posteriori</i> concernant la neuvième question pour les classes de terminale D1.....	318
Graphique 101 : Comparaison des analyses <i>a posteriori</i> concernant la neuvième question pour les classes de terminale D2.....	319
Graphique 102 : Comparaison des analyses <i>a posteriori</i> concernant la dixième question pour les classes de terminale C.....	320
Graphique 103 : Comparaison des analyses <i>a posteriori</i> concernant la dixième question pour les classes de terminale D1.....	321
Graphique 104 : Comparaison des analyses <i>a posteriori</i> concernant la dixième question pour les classes de terminale D2.....	322
Graphique 105 : Comparaison des analyses <i>a posteriori</i> concernant la onzième question pour la classe de terminale C.....	323
Graphique 106 : Comparaison des analyses <i>a posteriori</i> concernant la onzième question pour la classe de terminale D1.....	324

Graphique 107 : Comparaison des analyses <i>a posteriori</i> concernant la onzième question pour la classe de terminale D2. ....	325
--	-----

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Extrait de l'épreuve de chimie au baccalauréat C et D, pour la session 2020. ....	11
Figure 2 : Différentiation référent empirique et modèle d'après Martinand (1994).....	27
Figure 3 : Schéma particulière de l'étude réalisée par Arasasingham et al. (2004) d'après Dehon (2018). ....	35
Figure 4 : Triangle didactique servant de cadre d'appui à la mise en place des situations didactiques de Brousseau (1998). ....	47
Figure 5 : Interaction du sujet avec le milieu d'après Brousseau (1998).....	47
Figure 6 : La place de l'enseignant dans une situation didactique d'après Brousseau (1998). ....	48
Figure 7 : Interaction élève milieu durant la phase d'action d'après Brousseau (1998).....	49
Figure 8 : Triangle des niveaux de pensée de Johnstone 1991. ....	54
Figure 9 : « Chemistry triplet » de Houart (2009). ....	57
Figure 10 : Tétraèdre des niveaux de savoir de Kermen et Méheut (2009). ....	60
Figure 11 : « Chemistry triplet » version de Talanquer (2011).....	61
Figure 12 : Niveaux de conceptualisation en chimie de Taber (2013). ....	63
Figure 13 : Tétraèdre de Kermen et Méheut (2009) révisé par Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2014). ....	65
Figure 14 : Les niveaux de signification associés à une visualisation pour un jeune apprenant (Dehon, 2018). ....	67
Figure 15 : Niveau de signification et exemple associé à l'atome de sodium (Dehon, 2018). ....	68
Figure 16 : Résumé des principales étapes de l'ingénierie didactique d'après Artigue (1988). ....	79
Figure 17 : Prétest des élèves.....	87
Figure 18 : Matériel didactique. ....	89
Figure 19 : Protocole expérimental .....	93
Figure 20 : Une photographie qui montre les élèves qui manipulent.....	93
Figure 21 : Post test. ....	95
Figure 22 : Questionnaire des enseignants.....	98
Figure 23 : Grille d'analyse des données du prétest.....	109
Figure 24 : Grille d'analyse du post test.....	110

Figure 25 : Grille d'analyse des conceptions des praticiens (sur l'empirique, le macroscopique, le microscopique et le symbolique /visualisation). .....	112
Figure 26 : Titre des modules en fonction des classes et leurs durées mentionnées dans le programme officiel du sous cycle d'observation 6 <sup>e</sup> et 5 <sup>e</sup> en vigueur au Cameroun depuis 2014 (p. 14).....	115
Figure 27 : Module 2 du programme de chimie de la classe de 6 <sup>e</sup> et 5 <sup>e</sup> en vigueur depuis 2014 (p. 22). .....	117
Figure 28 : Modules et durée extraits du programme de sciences physiques 4 <sup>e</sup> /3 <sup>e</sup> en vigueur depuis 2014 (p. 16).....	120
Figure 29 : Modules, catégories d'actions et durée issus du programme de la classe de 4 <sup>e</sup> en vigueur depuis 2014 (p. 18). .....	120
Figure 30 : Modules, catégories d'actions et durée issus du programme de la classe de 3 <sup>e</sup> en vigueur depuis 2014 (p. 18). .....	120
Figure 31 : Profil d'un élève de classe de 3 <sup>e</sup> d'après le programme de sciences physiques en vigueur depuis 2014 (p. 19). .....	121
Figure 32 : Extrait du module 1 du programme de chimie de la classe de 4 <sup>e</sup> francophone en vigueur depuis 2014 (p. 23). .....	123
Figure 33 : Extrait du module 3 du programme de chimie de la classe de 4 <sup>e</sup> francophone au Cameroun en vigueur depuis 2014 (p. 29). .....	125
Figure 34 : Extrait du module 1 du programme de chimie de la classe de 3 <sup>e</sup> francophone en vigueur depuis 2014 (p. 36). .....	127
Figure : 35 Tableau synoptique extrait du programme de la classe de seconde en vigueur depuis 2018 (p. 4). .....	130
Figure 36 : Tableau synoptique des modules extraits du programme de la classe de première en vigueur depuis 2019 (p. 4). .....	136
Figure 37 : Tableau synoptique extrait du programme de chimie de la classe de terminale C, D, E ainsi que les catégories d'action, en vigueur depuis 2020, (p. 4). .....	142
Figure 38 : Réponse proposée par un élève.....	253

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Récapitulatif des difficultés rencontrées au cours de la circulation entre les niveaux de savoirs au fil du temps en fonction des auteurs .....	43
Tableau 2 : Tableau récapitulatif de l'évolution des niveaux de savoir de 1982 à 2018 .....	69
Tableau 3 : Rapport entre les analyses qualitatives et quantitatives d'après De Ketele et al. (2010) .....	100
Tableau 4 : Récapitulatif des types de codage d'après Andreani et Cochon (2005).....	103
Tableau 5 : récapitulatif des unités de codage selon Andreani et Cochon (2005) .....	105
Tableau 6 : Caractéristiques des enseignants. ....	151
Tableau 7 : Répartition des élèves en fonction du sexe .....	163
Tableau 8 : Test d'homogénéité du sexe Tle C .....	163
Tableau 9 : Test d'homogénéité du sexe Tle D <sub>1</sub> .....	163
Tableau 10 : Test d'homogénéité du sexe Tle D <sub>2</sub> .....	164
Tableau 11 : Répartition des élèves dans les différentes classes en fonction de la tranche d'âge .....	164
Tableau 12 : Test d'homogénéité en fonction des âges Tle C.....	165
Tableau 13 : Test d'homogénéité en fonction des âges Tle D <sub>1</sub> .....	165
Tableau 14 : Test d'homogénéité en fonction des âges Tle D <sub>2</sub> .....	166
Tableau 15 : récapitulatif des résultats du test t de student pour chacune des classes étudiées .....	166
Tableau 16 : Répartition des élèves selon l'âge et le sexe dans les classes constituées (Tle C) .....	167
Tableau 17 : Répartition des élèves selon l'âge et le sexe dans les classes constituées (Tle D <sub>1</sub> ). .....	167
Tableau 18 : Répartition des élèves selon l'âge et le sexe dans les classes constituées (Tle D <sub>2</sub> ) .....	168

## LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Cours théorique portant sur la saponification .....	xxviii
Annexe 2 : Grille d'observation .....	xxix
Annexe 3 : Compte rendu guidé.....	xxx
Annexe 4 : Module 1 du programme de chimie de la classe de seconde francophone .....	xxxii
Annexe 5: Module 2 du programme de chimie de la classe de seconde scientifique .....	xxxiii
Annexe 6 : Module 1 du programme de chimie de la classe de 1 <sup>ère</sup> c, d et e .....	xxxv
Annexe 7 : Module 2 du programme de chimie de la classe de première c, d et e. ....	xxxvi
Annexe 8 : Module 1 du programme de chimie de la classe de terminale c, d et e. ....	xxxvii
Annexe 9 : Module 2 du programme de chimie de la classe de terminale c, d.....	xxxix
Annexe 10 : Module 3 du programme de chimie de la classe de terminale.....	xli
Annexe 11 : Attestation de recherche .....	xlii
Annexe 12 : Note du prétest tle c .....	xliii
Annexe 13 : Note prétest tle d1 .....	xliv
Annexe 14 : Note prétest tle d2 .....	xlv
Annexe 15 : Activités de remédiation .....	xlvi
Annexe 16 : Formulaire de consentement .....	xlviii

## RÉSUMÉ

Les niveaux de savoir représentent des nœuds d'obstacles incontournables dans l'apprentissage de la chimie au Cameroun comme d'ailleurs partout dans le monde. Or il s'avère que de nombreux élèves et enseignants rencontrent des difficultés à les distinguer. Nous voulons regarder si la mise en place des travaux pratiques portant sur la saponification permet aux élèves de distinguer les niveaux de savoir. Nous avons, primo, déterminé les origines des difficultés liées aux niveaux de savoir, secundo construit une ingénierie didactique susceptible d'aider les élèves ainsi que les enseignants à distinguer les niveaux de savoir, tertio évalué l'influence de l'ingénierie sur la distinction des niveaux de savoir. Pour y parvenir, nous avons exploré plusieurs pistes telle que la piste institutionnelle (analyse des programmes de chimie de la classe de sixième à la classe de terminale scientifique) afin de voir la place qu'occupe les niveaux de savoir dans le programme, les pistes épistémologiques et conceptuelles (analyse de l'évolution des niveaux de savoir), les pistes historiques (analyse des difficultés d'apprentissages relatif aux niveaux de savoir). Nous avons également mis en place un prétest pour élèves, un questionnaire pour enseignants afin de connaître respectivement les appréhensions des élèves et des enseignants sur les niveaux de savoir. L'analyse des différents résultats a permis de mettre en place une ingénierie didactique basée sur une circulation entre les niveaux de savoir dans une moitié des trois classes et, un post test dans l'ensemble des classes. La comparaison des analyses a priori et a posteriori à partir des différents tests (prétest et post test) réalisés sur 106 élèves de classe de terminale scientifique (C et D) permet de montrer que les élèves ayant participé à l'ingénierie mise en place distinguent mieux les niveaux de savoir par rapport à ceux n'ayant pas participé. En réponse aux difficultés rencontrées par les élèves, une activité de remédiation a été conçue dans le but de les aider à mieux distinguer les différents niveaux de savoir. Au terme de notre étude, nous sommes parvenus à la conclusion suivante : le dispositif d'expérimentation portant sur la saponification aide les élèves à mieux appréhender les différents niveaux de savoir de la chimie. Nous suggérons aux concepteurs des programmes de chimie de spécifier les savoirs en termes de niveau dans le programme de chimie pour une meilleure prise en compte dans l'apprentissage.

**Mots clés :** Niveaux de savoir, Difficultés d'apprentissage, Analyses, Ingénierie didactique, pistes.

## ABSTRACT

The levels of knowledge represent knots of unavoidable obstacles in learning chemistry in Cameroon as elsewhere in the world. However, it turns out that many students and teachers have difficulty distinguishing them. We want to see if the implementation of practical work on saponification allows students to distinguish between levels of knowledge. We have, firstly determined the origins of the difficulties related to the levels of knowledge, secondly, build a didactic engineering likely to help the pupils as well as the teachers to distinguish the levels of knowledge, thirdly, evaluated the influence of engineering on the distinction of knowledge levels. To achieve this, we explored several tracks such as the institutional track (analysis of chemistry programs from the 6th grade to the science 12<sup>th</sup> grade classes) in order to see the place occupied by the levels of knowledge in the program, the epistemological and conceptual tracks (analysis of the evolution of levels of knowledge), the historical tracks (analysis of learning difficulties relating to levels of knowledge). We have also set up a pre-test for students, a questionnaire for teachers in order to know respectively the apprehensions of students and teachers on the levels of knowledge. The analysis of the various results allowed us to set up a didactic engineering based on a circulation between the levels of knowledge in half of the three classes and, a post test in all the classes. The comparison of the a priori and a posteriori analyzes relating to the various tests (pre-test and post-test) carried out on 106 pupils of the 12th grade class (C and D) allows us to note that the pupils who took part in the engineering put in place better distinguish between the levels compared to those who did not take part. In response to the difficulties encountered by the students, a remedial activity was designed to help them better distinguish between the different levels of knowledge. At the end of our study, we came to the following conclusion: the experimental device on saponification helps students better understand the different levels of knowledge of chemistry. We suggest that designers of chemistry programs specify knowledge in terms of level in the chemistry program for better consideration in learning.

**Keywords:** Levels of knowledge, Learning difficulties, Analyses, Didactic engineering, Leads.

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'enseignement des sciences a longtemps préoccupé les chercheurs et les praticiens de la didactique des sciences. Selon De Vicchi (1990, p. 36) « *Il ne suffit pas de regarder notre environnement afin d'élaborer les connaissances ayant un statut scientifique ; il faut dépasser cette observation, construire des modèles explicatifs, des théories...* ». De même que De Vicchi (1990), de nombreux chercheurs (Johnstone 1982 & 1991, Laugier 2000, Houart 2009, Kermen et Méheut 2009, Talanquer 2011, Taber 2013, Dumon et Mzoughi-Khadhraoui 2014, Dehon 2018, Canac 2020...) des disciplines scientifiques se sont toujours intéressés aux méthodes adéquates pour l'enseignement des sciences car, dans les établissements scolaires, les sciences sont enseignées de manière purement théorique en accordant une grande place à l'abstraction (Gruson, 2012). Le rapport de l'UNESCO de 1996 confirme l'enseignement des sciences par des exposés théoriques dans nos établissements scolaires. Or « *manipuler est donc pour moi un moyen de mieux appréhender les phénomènes compliqués* » (Gruson, 2012, p.1). Cependant, lorsque l'apprenant expérimente à travers une démarche d'investigation comme il est recommandé dans plusieurs programmes, à l'instar des programmes français par exemple, il a l'occasion de se poser des questions, de formuler ses propres hypothèses et de vérifier ses propres résultats : c'est à dire de confirmer ou d'infirmer ses propres hypothèses. Il est capable peut être de distinguer le monde abstrait du monde concret. De plus, Gruson (2012, p.3) précise encore que, « *la modélisation et l'expérimentation occupent une place importante dans l'enseignement de la chimie* ». Par ailleurs, en chimie, comme dans tout enseignement de sciences (sciences de la vie et de la terre...), il est difficile d'enseigner certains concepts non seulement à cause de leurs formulations, mais aussi à cause de l'absence du matériel adéquat (Coquidé, 2003). Par conséquent, les enseignants sont parfois amenés à créer des situations didactiques qui ne cadrent pas avec les prescriptions du programme. En effet, ces différentes situations didactiques, créées par l'enseignant dans un but ultime de construire le savoir, sont souvent mal perçues par les apprenants au moment de l'implémentation. D'ailleurs, de nombreux dysfonctionnements, constituant des sources d'obstacles et ayant de lourdes conséquences dans l'apprentissage sont souvent observés. Un exemple d'obstacle est le cas observé chez les élèves des lycées, qui ont parfois du mal à comprendre les différents niveaux (empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation) de la chimie car les enseignants ne précisent pas toujours dans quel niveau ils se placent, ce qui ne facilite pas la

construction des savoirs chez l'apprenant. Tiberghien et al. (1995) précise que plus un savoir est appris et correctement relié entre les trois niveaux de savoir (le macroscopique, le microscopique et le registre symbolique), plus il est durable. A la suite de Tiberghien et al. (1995), de nombreux chercheurs (Kermen et Meheut (2009), Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2014), Dehon (2018) ...) pensent que les concepts chimiques n'ont davantage de sens pour les élèves que lorsqu'ils sont inclus dans la circulation entre les niveaux de savoir. Les niveaux empirique, macroscopique, microscopique et symbolique semblent être d'une importance capitale pour l'apprentissage. Outre les chercheurs cités précédemment, Larcher (1994) précise que lorsque l'enseignant ne distingue pas suffisamment avec rigueur, le registre des phénomènes, le registre des représentations symboliques ainsi que le registre des modèles, il entraîne les élèves et les étudiants non seulement dans de mauvaises représentations des phénomènes, mais aussi dans la confusion. Afin de limiter les confusions chez les élèves, nous explorerons les pistes de réflexions proposées par Dehon et Snauwaert (2015, p 213), qui stipulent : *« il nous paraît opportun de distinguer le discours d'un enseignant qui, de par son statut d'expert, embrasse la quasi-totalité de l'« espace du savoir en chimie » du discours d'un élève qui, selon son niveau de maîtrise de la matière, peut emprunter des schémas de pensée différents. »* Il est vrai que l'enseignant, en tant qu'ingénieur du savoir et de par sa maîtrise des savoirs savants, peut utiliser des moyens qui lui semblent adéquats pour enseigner. Cependant, il doit également s'assurer, d'être toujours en phase avec ses apprenants au cours des apprentissages en tenant compte de leurs difficultés auxquelles ils feront face au cours des enseignements. Nous rejoignons donc Dehon et Snauwaert (2015, p 213) qui l'illustrent clairement au cours d'une observation d'une séquence d'enseignement en disant d'une part que, *« si un enseignant est capable de distinguer une description essentiellement empirique d'une description à l'aide de certains concepts macroscopiques passés dans son langage courant [...], un élève doit d'abord apprendre à construire ces concepts macroscopiques à des fins descriptives »*. Et d'autre part que, *« l'utilisation d'un signe sans explicitation par un enseignant peut référer à la fois aux concepts macroscopiques et aux concepts microscopiques alors qu'un élève peut n'y voir qu'une lettre ou un chiffre sans aucun lien avec le phénomène chimique observé »*. Nous percevons progressivement les difficultés auxquelles les apprenants font face. Il est important de préciser que le choix de la saponification comme élément d'expérimentation sur lequel s'appuie cette recherche n'est pas une exception aux difficultés d'apprentissage des élèves. En effet, la plupart des enseignants du secondaire au Cameroun rendent compte d'un modèle expérimental de la saponification à l'aide d'un modèle théorique, rendant difficile la

circulation entre les niveaux de savoir. Ainsi, il est intéressant de voir si la mise en place d'un dispositif d'expérimentation sur la saponification, et surtout si le fait que les élèves manipulent, les aideraient à comprendre les différents niveaux de savoir. Pour cela, nous formulons les questions suivantes, susceptibles de mieux orienter les investigations tout au long de la recherche :

1. Quelles sont les origines des difficultés rencontrées par les élèves au cours de la circulation entre les niveaux de savoir ?

2. Quel est l'impact de l'usage d'une ingénierie didactique portant sur la saponification sur la distinction des niveaux de savoir en chimie organique ?

Les réponses à ces deux questions constitueront l'ossature de ce travail. Cette thèse se structure en cinq parties. Une première partie intitulée « construction de la problématique », où nous posons le problème et nous présentons le cadre conceptuel. Une deuxième partie intitulée « cadre théorique » où nous situons le problème dans la littérature, puis, nous présentons les cadres théoriques. Une troisième partie intitulée « cadre méthodologique » comporte la méthodologie de la recherche, la méthodologie de collecte des données et la méthodologie d'analyse des résultats obtenus. La quatrième partie est intitulée « enquête préalable et analyse *a priori* ». Dans cette partie, on y retrouve l'analyse des programmes de chimie des classes du collège et du lycée, l'analyse préalable des appréhensions des enseignants sur les niveaux de savoir, les résultats et analyses *a priori* des appréhensions des élèves sur les niveaux de savoir. Une cinquième partie intitulée « analyse *a posteriori*, comparaison des analyses et discussion » comporte les résultats et analyses *a posteriori*, où l'on présente les résultats issus du post test, une comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* qui permet de valider ou d'infirmer les hypothèses engagées dans la recherche, la partie se clôture par une discussion des résultats obtenus.

# **PREMIÈRE PARTIE : CONSTRUCTION DE LA PROBLÉMATIQUE**

Cette partie comporte deux chapitres :

- un premier chapitre qui présente la problématique de l'étude,
- un deuxième chapitre qui présente le cadre conceptuel.

# CHAPITRE 1 : PROBLÉMATIQUE DE L'ÉTUDE

Dans cette étude, nous nous intéressons aux raisons pour lesquelles les apprenants ont du mal à distinguer les niveaux empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation de la chimie. Pour y parvenir, nous nous interrogeons sur la complexité d'apprendre de nouveaux savoirs. Étant donné que la complexité du savoir constitue l'un des obstacles majeurs à l'apprentissage des concepts liés aux niveaux de savoir, on peut donc s'interroger sur la démarche à adopter afin de limiter ces différents obstacles à l'apprentissage. Une piste de réflexion est basée sur l'analyse du curriculum de chimie de la classe de terminale scientifique du Cameroun afin de voir s'ils véhiculent les niveaux empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation qui constituent les bases d'apprentissage en chimie. A la suite de l'exploration de cette piste de réflexion, nous nous intéressons d'une part, à la présentation de quelques efforts réalisés par le gouvernement camerounais face aux difficultés d'apprentissage, d'autre part au positionnement du problème qui comporte les constats, le problème proprement dit, les questions de recherche ainsi que les objectifs de la recherche. Le chapitre se clôture non seulement par les divers intérêts de cette recherche mais aussi par les différentes délimitations : on ne pourrait embrasser tout le vaste espace de la didactique de la chimie.

## **1-1 Contexte et justification**

### **1-1-1 La transposition didactique : un exercice complexe pour résoudre le problème de construction des savoirs**

Construire des savoirs scientifiques demeure une préoccupation majeure pour les enseignants, les apprenants et même pour les chercheurs. La plupart des chercheurs comme Barlet (1999), par exemple, le confirme car, bon nombre d'apprenants d'hier et d'aujourd'hui rencontrent des difficultés d'appropriation des savoirs en chimie. Cependant, en parcourant de nombreux travaux de recherches, on retrouve des chercheurs qui tentent d'expliquer ces difficultés, en formulant des hypothèses qui s'orientent vers une mauvaise transposition didactique. Pour Johnstone (1982) par exemple, l'une des difficultés des élèves concerne la

nature du message qui est véhiculé au cours des apprentissages. Ce message, issu de plusieurs transpositions didactiques, semble parfois ne pas correspondre aux attentes des élèves, et par conséquent, ils peuvent être sans intérêt dans l'apprentissage. Par exemple, des chercheurs à l'instar de Dehon et Snauwaert (2015) ont fait des constats similaires, lors des exercices d'équilibrage des équations bilan. Les élèves résument cet exercice à une simple manipulation mathématique. Or, cette manipulation mathématique (mauvaise transposition didactique) a de lourdes conséquences sur l'apprentissage. Premièrement, cela ne fait nullement ressortir les volets empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation de la chimie. Deuxièmement, cela accroît le degré d'abstraction des savoirs. Troisièmement cela trahit l'esprit scientifique de l'apprenant. Cette difficulté d'apprentissage relevée par Dehon et Snauwaert (2015) n'est pas de nature à résoudre le problème mais à l'aggraver. De plus, ces différents constats confirment également les propos de Barlet (1999, p.1424) : « *les faibles connaissances en chimie du grand public ne font qu'aggraver le phénomène et montrent combien les chimistes ont du mal à communiquer et à faire connaître réellement leur discipline* ». Les propos de Barlet ouvrent un boulevard de réflexion sur la faiblesse du niveau de connaissance en chimie. De nombreux avis de plusieurs auteurs émergent dans la suite de ce document. Pour Laugier et Dumon (2004) par exemple, ce manque de connaissance s'explique par l'incapacité des apprenants à se faire des représentations sur de nombreux concepts comme l'équation bilan de la réaction chimique qui représente un véritable nœud d'obstacles pour l'élève. Cette équation fait intervenir des informations relevant de différents niveaux de savoir (empirique, macroscopique, microscopique, symbolique/visualisation). En effet, ces savoirs enseignés, qui sont différents des savoirs savants doivent tenir compte du niveau de développement cognitif de l'apprenant ; d'où la nécessité d'une transposition didactique adéquate (Cazalet & Chen, 1993). Cependant, en parcourant la littérature, on se rend compte que l'une des difficultés d'apprentissage de la chimie repose en grande partie sur la non application effective de la dualité théorie pratique. En observant les praticiens au cours de leur enseignement sur la réaction chimique, on note que ces derniers rendent compte des faits expérimentaux à l'aide d'un modèle théorique. Or la chimie est une science à la fois théorique et expérimentale, ce qui rend difficile l'apprentissage de nombreux concepts. Par ailleurs des avis convergent vers un manque du volet expérimental en classe : pour Kane (2011, p. 3) par exemple, « *les activités expérimentales semblent être orientées en priorité vers la présentation des concepts et des lois aux élèves s'écartant ainsi des démarches scientifiques* ». Ce point de vue est également partagé par Lafarge (2010) qui mentionne que la structuration de certains

contenus sans prise en compte des activités expérimentales ne permet pas aux élèves de gérer efficacement la complexité de la discipline. A la suite de ces auteurs, on peut s'interroger sur l'influence de l'introduction des activités expérimentales dans l'apprentissage de la chimie, sans oublier l'impact que cela pourrait avoir sur la compréhension et peut-être sur la distinction des niveaux macroscopique et microscopique de la chimie. Cependant, des travaux réalisés par Kermen & Méheut (2009), Dumon & Mzoughi-Khadhraoui (2014), Dehon & Snauwaert (2015), Canac (2017), Dehon (2018) montrent d'une part que, les concepts chimiques prennent davantage de sens pour les élèves lorsqu'ils sont inclus dans une circulation entre les niveaux de modélisation microscopique et macroscopique, et d'autre part que, ces concepts sont de plus en plus opérationnels s'ils sont mis en œuvre par les élèves dans les niveaux macroscopique et microscopique, à partir des visualisations variées. De plus, les niveaux empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation de la chimie semblent être d'une importance capitale dans l'apprentissage. Dehon et Snauwaert (2015) le soulignent comme élément clé de l'apprentissage. Nous nous interrogeons sur ce point afin de savoir si le programme actuel de chimie au Cameroun prévoit une mise en circulation et une visualisation des concepts sur les plans macroscopique et microscopique.

### **1-1-2 Une petite analyse du curriculum actuel de chimie : une recherche des niveaux empirique, macroscopique, microscopique et symbolique / visualisation de la chimie**

Le programme de chimie actuellement en vigueur au Cameroun depuis 2020, et principalement en classe de terminale scientifique, comporte trois modules, à savoir : la chimie organique, les acides et bases, la cinétique chimique (Ministère des enseignements secondaires, 2020). Les finalités du programme y sont présentes. Chaque module comporte des familles de situation, des exemples de situation, des catégories d'action, des exemples d'action, des savoirs, des savoir-faire, des savoir-être et autres ressources ainsi que les temps de déroulement du module entier. Les objectifs de la classe de terminale sont :

- permettre à l'apprenant de communiquer à l'écrit et à l'oral sur des phénomènes scientifiques de son environnement ;

- développer la culture scientifique et les compétences de l'élève 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 ;
  - familiariser l'apprenant avec la méthode scientifique d'une façon accessible et simple, à travers le travail en groupe et l'expérimentation ;
  - permettre à l'apprenant d'implémenter aisément la démarche scientifique ;
  - permettre 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.
- (Ministère des enseignements secondaires, 2020).

Par ailleurs, en parcourant le programme, nous nous rendons compte que ce dernier ne précise ni les contenus des travaux pratiques et des travaux dirigés, ni les différents niveaux de la chimie. Cette absence de spécification du programme de chimie en termes de niveaux empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation en tant que base d'apprentissage n'est pas de nature non seulement à aider l'enseignant à mettre en place cette distinction, mais encore moins à aider l'élève à apprendre. De plus, aucune précision n'est faite sur la durée de chaque découpage des contenus d'un module à développer. Par contre, des contenus sans rapport avec les classes antérieures (prérequis) y sont présents. La structuration des programmes scolaires est quelquefois au cœur des recherches en didactique. En France, par exemple, Lafarge (2010), s'est interrogé sur la nécessité de réviser les contenus du programme afin d'améliorer l'enseignement de la chimie organique. Cependant, lorsque nous jetons un regard croisé avec celui du Congo, très proche du Cameroun, nous nous rendons compte que les aspects scientifiques ayant principalement trait aux expériences y figurent sans formulation précise des activités expérimentales à mener. Bien que le curriculum soit destiné à la formation des jeunes, il ne répond pas toujours aux exigences de la société en termes de type de citoyen à former conformément à la loi d'orientation scolaire (Kavula, 2019). En effet, les niveaux de savoir sont sous-entendus dans le programme de chimie au Cameroun. Ce passage inaperçu n'est pas sans dangers pour l'apprentissage d'où la nécessité de distinguer les niveaux de savoir. En effet, des chercheurs comme Kermen et Méheut (2009), Talanquer (2011), Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2014), Taber (2013), Dehon et Snauwaert (2015) par exemple, pensent que la distinction des niveaux de savoir offre un véritable outil à l'enseignement de la chimie. Cet outil didactique basé sur l'empirique, le macroscopique, le microscopique et le symbolique /visualisation, aurait une place prépondérante dans l'apprentissage pour diverses raisons. Premièrement l'outil didactique permettra de décrire les phénomènes chimiques à

différents niveaux, deuxièmement l'outil didactique permettra de les expliquer et enfin de les représenter. Cependant, peut-on penser, que le fait que le programme de chimie ne spécifie pas les volets macroscopique et microscopique de la chimie signifierait qu'ils sont sans importance majeure pour l'apprentissage ? En d'autres termes, l'élève n'a-t-il pas besoin des connaissances à la fois macroscopiques et microscopiques afin de mieux asseoir ses connaissances en chimie ? Nous reviendrons sur l'analyse des programmes dans la quatrième partie. Face à ces difficultés d'apprentissage, quels sont les efforts réalisés par le gouvernement pour pallier ce manque au niveau des programmes ?

### **1-1-3 Les efforts du gouvernement**

Malgré ces nombreux obstacles relevés dans les programmes et les pratiques des enseignants, de nombreux efforts ont été menés par le gouvernement dans le but d'apporter des solutions dans un but ultime d'une éducation de qualité pour les élèves ; il s'agit notamment de :

- L'organisation des journées pédagogiques dans le but de former le personnel et de les outiller suffisamment afin d'aborder des contenus complexes. Ainsi, au cours de ces journées, les praticiens ont l'occasion de partager leurs vécus en situation de classes.
- La structuration des contenus afin que ces derniers répondent aux exigences de la société.
- La création des centres multimédias permettant aux apprenants et aux enseignants de s'enrichir en connaissance dans des domaines variés notamment en chimie.
- L'acquisition des kits de microsciences afin de faciliter les pratiques expérimentales.

Malgré les efforts menés par le gouvernement, l'application des pratiques expérimentales reste difficile non seulement à cause du manque de matériel, des locaux, mais aussi surtout à cause des contenus du programme ; il est clair que si le programme n'est pas plus explicite en termes de niveaux de savoir de la chimie, ces derniers pourraient passer de manière inaperçue aux yeux des praticiens et par conséquent pour les élèves au cours des apprentissages. Fort de cela, il est donc important de mettre en place un dispositif d'expérimentation centré dans notre cas sur la réaction de saponification, dans un but d'aider les élèves à distinguer les niveaux (empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/ visualisation de la chimie). Ainsi, la distinction de ces niveaux par l'apprenant constituera une preuve des savoirs scientifiques construits.

## **1-2 Position et formulation du problème**

Le problème soulevé dans la présente étude s'inscrit dans la continuité des travaux initiés par Johnstone (1982) et poursuivis par Dehon (2018). En effet, les savoirs en chimie sont véhiculés entre les niveaux empirique, macroscopique, microscopique et symbolique /visualisation. Compte tenu de leur non spécification dans le programme de chimie, cela n'est guère favorable à l'apprentissage. De nombreuses conséquences dues à cette absence dans les curricula en découlent.

### **1-2-1 Les constats**

Le premier constat concerne l'absence des travaux pratiques dans l'enseignement apprentissage de la chimie dans la plupart des lycées du Cameroun. Très peu de lycées au Cameroun possèdent des laboratoires. En fait, le constat est plus alarmant :

- soit le lycée possède un laboratoire équipé sans personnel formé à cet effet,
- soit le lycée possède les équipements sans local prévu pour les travaux pratiques,
- soit le lycée possède un local sans équipement,
- soit, le lycée possède le local, des équipements mais ne pratique pas l'expérimentation.

Les constats cités ci-dessus ont tous un point de convergence : la non prise en compte des travaux pratiques dans l'apprentissage, ce qui ne facilite pas le développement de l'esprit critique et peut ainsi conduire à un certain endoctrinement des élèves via uniquement des cours théoriques. Parmi ces quatre constats, les contraintes dues aux temps sont dans la plupart des cas évoquées : on s'interroge à cet effet sur la nature du cours dispensé, et sa planification. Pourtant, les travaux pratiques sont d'une importance capitale pour l'élève pour plusieurs raisons : ils permettent à l'élève de :

- se familiariser avec son milieu,
- d'interagir avec le milieu,
- de confronter la théorie et la pratique afin d'apprendre aisément,

- mettre en circulation les concepts empirique, macroscopique, microscopique et symbolique /visualisation.

En nous appuyant sur le premier constat, nous pouvons retenir que durant un TP, lorsqu'un élève manipule, il se confronte aux règles de sécurité dans un laboratoire, formule des hypothèses, les vérifie par l'expérimentation puis confronte ses résultats la plupart du temps avec ceux de ses camarades. Cette manipulation a notamment plusieurs avantages pour l'élève : elle crée non seulement de la motivation chez l'élève mais lui permet également de distinguer l'abstrait du concret. Enfin, la manipulation permet aux concepts chimiques de prendre davantage de sens. Carretto et Viovy (1994) pensent en effet que la médiation expérimentale permet de transmettre la pensée sous forme concrète. Par ailleurs, cette absence de travaux pratiques dans l'enseignement de la chimie ne permet pas une bonne mise en circulation des concepts chimiques : il serait donc difficile pour un enseignant, pour ne pas dire impossible, d'enseigner la chimie de manière efficace sans expérimentation.

Le second constat concerne l'échec scolaire en chimie. En effet, le taux de réussite en chimie pour le cas du Baccalauréat C et D demeure dans la plupart des cas en dessous de 50% malgré les efforts réalisés par le gouvernement pour l'amélioration de la qualité des enseignements. Cependant, lorsqu'on regarde de près les épreuves de chimie des cinq derniers baccalauréats au Cameroun, on ne note pas de spécification des savoirs véhiculés dans les niveaux (empirique-macro-submicro-symbolique/visualisation). En effet, certaine formulation des énoncés peut être à l'origine des difficultés des élèves : c'est le cas de l'exercice à caractère expérimental de l'épreuve de chimie au Cameroun pour le cas de la session 2020 (figure 1).

**EXERCICE 4 : TYPE EXPERIMENTAL (4pts)**

Dans un laboratoire de Lycée, des élèves de la classe de T<sup>le</sup> D veulent préparer 1 L d'une solution (Si) d'acide chlorhydrique de concentration molaire  $C_i = 5.10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ . Ce laboratoire dispose d'une bouteille de 1L dont l'étiquette porte les indications suivantes : « Acide chlorhydrique :HCl ; Pourcentage en masse : P = 34% ; densité : d = 1,17 ; Substance Corrosive »

- 1-Donner deux exemples de précaution à prendre lors de la manipulation de la solution d'acide chlorhydrique. **0,5pt**
- 2-Déterminer la concentration molaire  $C_o$  de la solution mère (So) d'acide chlorhydrique contenue dans la bouteille. **0,5pt**
- 3-Déterminer le volume  $V_o$  d'acide chlorhydrique de la solution mère (So) qu'il faut prélever pour préparer un litre de la solution (Si). **0,5pt**
- 4-Décrire, en quelques lignes, le mode opératoire de préparation de la solution( Si ). **0,5pt**

**Figure 1 : Extrait de l'épreuve de chimie au baccalauréat C et D, pour la session 2020**

D'après la figure 1, les concepteurs de l'épreuve de chimie assimilent l'acide chlorhydrique à la formule «  $HCl$  » pourtant, l'acide chlorhydrique résulte d'une mise en solution du chlorure d'hydrogène ce qui donnerait du point de vue symbolique  $H_3O^+$  et  $Cl^-$ . Soit l'élève décode cette distinction et résout l'exercice soit il décroche. En effet, lorsqu'on parle de solution d'acide chlorhydrique ou de l'acide chlorhydrique on est dans le macroscopique. Si on parle de «  $HCl$  » ou de «  $H_3O^+$  et  $Cl^-$  » on est dans le symbolique /visualisation. Nous pensons qu'il serait difficile à un élève de connecter l'acide chlorhydrique (niveau macroscopique) à ( $H_3O^+$  et  $Cl^-$ ) (niveau symbolique/visualisation) contrairement à ce qui est mentionné dans le texte (Figure 1). Cette confusion (nom/formule chimique) n'est pas de nature à aider l'élève à circuler entre les niveaux de savoir.

Le troisième constat concerne les effectifs de grand groupe dans les classes. En effet, dans la plupart des établissements secondaires des grandes villes en général, on note des effectifs importants dans les classes. Ces effectifs ne sont pas de nature à faciliter la mise en place des TP puisque les postes de travail, quand ils existent, sont limités. En conséquence, il devient difficile pour l'enseignant de mettre en circulation les différents niveaux de savoirs. La gestion des difficultés des élèves liées aux apprentissages est quelquefois absente lors des travaux dirigés ou pratiques lorsque ces derniers ont lieu. L'enseignant préfère enseigner le maximum de chapitres de manière magistrale, balayer tout le programme plutôt que de se heurter au caractère chronophage des TP.

Au plan international, les études réalisées par Solomonidou et Stavridou (1989) montrent que la plupart des pays d'Europe privilégient la modélisation pour l'enseignement des concepts tels que la réaction chimique au détriment du niveau phénoménologique. Or Rebeaud (1994) pense qu'il a été mis en évidence dans de nombreux travaux de recherche que la modélisation ne joue pas pleinement le rôle attendu dans la construction des connaissances : on ne peut faire l'économie d'une approche manipulatoire dans la distinction des niveaux de savoir. De leur côté, Dehon et Snauwaert (2015) montrent que le passage brutal de la démonstration expérimentale (niveau empirique) à l'écriture de l'équation bilan de la réaction (niveau symbolique/visualisation) semble présenter de nombreux avantages pour l'enseignant mais n'est pas sans conséquence pour l'élève. Comme exemple d'avantage, Dehon et Snauwaert (2015, p. 215) affirment qu'une telle séquence « *permet d'aborder rapidement les exercices de pondération des équations, qui, par leur aspect essentiellement procédural, constituent des outils d'évaluation aisés à concevoir tout en répondant en peu de temps aux*

*exigences des programmes* ». Comme exemple d'inconvénient, Dehon et Snauwaert (2011) pensent que, ce passage brutal de la démonstration expérimentale à l'écriture de l'équation bilan ne prend en compte ni les constructions personnelles de l'élève (Dehon & Snauwaert, 2015), ni les modèles atomiques ou moléculaires (niveau microscopique) (Dehon & Snauwaert, 2011). Une telle démarche n'est guère favorable à l'apprenant, puisqu'elle met en avant la mémorisation et non le processus de déconstruction et de reconstruction du savoir. Ces différents constats nous permettent de formuler le problème ci-après.

### **1-2-2 Le problème**

Comme le souligne Johnstone (1982) la majeure partie de l'enseignement de la chimie se trouve entre les niveaux macroscopique, microscopique et symbolique avec des proportions variables. L'enseignant se déplace entre ces niveaux sans pour autant être conscient des difficultés qu'éprouvent les élèves. D'ailleurs, Tiberghien et al. (1995) le précise : plus un savoir est appris et correctement relié entre les niveaux de savoir, plus il est durable. Outre Tiberghien et al. (1995), des chercheurs tels que Larcher (1994), précise que lorsque l'enseignant ne distingue pas suffisamment avec rigueur, le registre des phénomènes, le registre des représentations symboliques et le registre des modèles, il entraîne l'élève dans la confusion. Une confusion qui se justifie clairement car l'élève qui apprend ne sait pas dans quel registre il se situe. Cormier (2014, p. 7) soutient le point de vue de Larcher (1994) : « *Ce n'est en effet qu'après avoir maîtrisé ces trois domaines et leur interrelation qu'un étudiant pourra aspirer à utiliser correctement les modèles de la chimie pour prédire et expliquer les réactions de la matière* ». Ces constats des praticiens et des chercheurs s'inscrivent dans la continuité des travaux entrepris par Johnstone : la difficulté des élèves à distinguer les niveaux empirique, macroscopique, microscopique et symbolique de la chimie. En effet, ce problème qui demeure au centre des préoccupations des chercheurs et des praticiens constituera une pierre à l'édifice de cette thèse. Pour le résoudre, les questions ci-après sont posées.

### **1-2-3 Questions de recherches**

- **Question centrale** : Quelle est l'influence d'un dispositif d'expérimentation portant sur la saponification sur la distinction des niveaux empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation de la chimie ?

Pour répondre à cette question centrale compte tenu de sa complexité et de l'ampleur des tâches à mener au cours des investigations liées à la recherche, deux autres questions secondaires ont été posées :

### **Questions secondaires :**

**QS1-** Quelles sont les origines des difficultés rencontrées par les élèves au cours de la circulation entre les niveaux de savoir ?

**QS2-** Quel peut être l'impact d'une ingénierie didactique basée sur un TP portant sur la saponification sur la distinction des niveaux de savoir ?

### **1-2-4 Objectifs de la recherche**

Afin d'offrir un véritable outil à la didactique de la chimie, il est question de façon générale dans cette étude, d'une part, de concevoir et de mettre à disposition des enseignants et des élèves un dispositif d'expérimentation portant sur la saponification, en tenant compte des difficultés des élèves lors de la circulation entre les niveaux de savoir, et d'autre part, d'évaluer l'impact de ce dispositif mis en place sur la distinction des niveaux de savoir.

Pour y parvenir, nous nous donnons des objectifs spécifiques (OS) :

- **OS<sub>1</sub>** : Faire une enquête historique sur la circulation entre les niveaux de savoir ;
- **OS<sub>2</sub>** : Analyser les ressources curriculaires afin de vérifier la spécification des savoirs en termes de niveau dans le programme de chimie ;
- **OS<sub>3</sub>** : Prendre en compte les représentations des praticiens et des élèves sur les niveaux de savoir ;
- **OS<sub>4</sub>** : Mettre en place le dispositif afin d'aider les élèves à circuler entre les niveaux de savoir.
- **OS<sub>5</sub>** : Évaluer l'impact de dispositif mis en place sur la distinction des niveaux de savoir.

### **1-3 Intérêt de l'étude**

#### **1-3-1 Sur le plan scientifique**

Nous nous intéressons aux attitudes scientifiques que l'on rencontre lors des travaux pratiques telles que développées par Giordan (1999).

- L'esprit critique : en effet, les élèves ont tendance à critiquer les résultats issus des diverses expérimentations réalisées par leurs camarades, dans la plupart des cas lorsqu'ils ont obtenu des résultats différents : ceci montre que les élèves apprennent par des remises en question de leurs représentations, par déconstruction et reconstruction des savoirs.

- L'esprit de créativité : un apprenant doit faire des efforts de créativité et d'imagination chaque fois qu'il rencontre une situation nouvelle par exemple, en chimie, l'élève doit proposer des démarches relevant de son vocabulaire afin d'expliquer ce qui se passe au niveau microscopique durant une réaction chimique.

- La curiosité : l'élève face au TP développera un esprit curieux ; il sera confronté à deux mondes, le monde abstrait et le monde concret. Cette confrontation lui permettra de développer sa curiosité. Il identifiera donc le visible de l'invisible.

- L'envie de rechercher par soit même ; en effet, le TP qui sera mis en place permettra à l'élève d'interagir avec son milieu. Le rôle de l'interaction est de l'amener à rechercher une réponse convenable au problème posé. Il réalisera la manipulation de manière individuelle puis de manière collective afin de s'assurer de la maîtrise de la tâche principale de l'apprentissage.

### **1-3-2 Sur le plan pédagogique et didactique**

- Sur le plan pédagogique, les travaux pratiques permettent de faire d'une classe une zone proximale de développement : ils resserrent les liens du contrat pédagogique car tout apprenant se sent acteur dans la construction des savoirs. De plus, le TP mis en place est en lien direct avec l'approche par les compétences en vigueur dans le programme officiel. Comme nous l'avons dit, nous mettons en place ici un TP sur la saponification. Le savon fait partie de l'environnement direct de l'enfant : le TP intervient en tant qu'outil de résolution des problèmes qui se posent au quotidien.

- Sur le plan didactique, l'ingénierie didactique mise en place vise une circulation entre les niveaux de savoir empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation. Ce dispositif didactique est à double but : promouvoir le processus enseignement apprentissage de la chimie et optimiser les résultats scolaires des élèves en science en général et en chimie en particulier.

Par ailleurs les chercheurs comme Nkeck (2013) par exemple, pensent que les produits technologiques, en tant que source de savoir scientifique représentent une source d'inspiration pour les élèves et les enseignants : ce qui explique la nécessité d'un dispositif d'expérimentation.

### **1-3-3 Sur le plan social**

La loi d'orientation de l'éducation au Cameroun numéro 98/004 du 04 Avril 1998 en son article 4 concerne l'insertion sociale de l'enfant. Le TP portant sur la saponification mis en place dans ce travail aura quatre grands avantages pour l'élève. En se référant aux attitudes scientifiques développées par Giordan (1999), nous pensons que le TP permettra premièrement de s'intéresser davantage aux sciences, deuxièmement de développer la logique, troisièmement de rendre ses décisions plus rationnelles et plus justes, quatrièmement, de développer l'esprit critique, d'initiative, de créativité afin de faciliter l'insertion sociale de l'élève.

### **1-4 Délimitation de l'étude**

#### **1-4-1 Délimitation thématique**

Notre étude se situe dans le champ de la didactique, car nous nous intéressons aux méthodes adéquates de construction des savoirs. Rappelons que deux grands paramètres constituent notre recherche : le dispositif d'expérimentation et les niveaux de savoir. L'étude se limitera aux niveaux de savoir utilisés par les élèves avant et après les travaux pratiques portant sur la saponification. Pour y parvenir, une prise en compte des conceptions des élèves sur le macroscopique, le microscopique et le symbolique permettra une mise en place et une évaluation de la circulation des élèves entre les niveaux de savoir.

#### **1-4-2 Délimitation spatiale**

La présente étude concerne les élèves des classes de terminales du Cameroun. Le choix du lycée bilingue de Nkol-eton se justifie non seulement par le fait que celui-ci se situe au cœur de la ville de Yaoundé, capitale du Cameroun, mais aussi par le fait que nous devons tenir compte de la crise sanitaire qui sévit dans le pays. Les déplacements sont restreints afin d'éviter la propagation du virus. Rappelons que dans cette ville, on retrouve une population cosmopolite. Ce brassage de population venant de plusieurs régions témoigne de la diversité de notre

échantillon représentatif du Cameroun, ce qui permet une étude plus rigoureuse intégrant une bonne partie des groupes sociaux culturels. Notons que les différences sociales culturelles ont quelquefois des impacts sur l'étude.

### **1-4-3 Délimitation temporelle**

La présente étude se déroule durant l'année scolaire 2020 -2021, elle prend en compte la crise sanitaire qui a eu un impact sur l'année scolaire précédente et même sur celle en cours. La présente étude intègre l'approche pédagogique en vigueur en ces temps de crise qui est l'approche par les compétences. Le temps réservé pour cette étude correspond aux plages horaires des cours de chimie pour les classes de terminales scientifiques. Les activités liées à la recherche se déroulent selon la convenance des enseignants titulaires de la classe, et en fonction de leurs progressions annuelles dans le programme. Bien que le programme ne spécifie pas le temps réservé aux travaux pratiques, un espace y est créé par les enseignants titulaires des classes où se fera l'étude à cet effet.

### **1-5 Conclusion**

Nous avons montré que les difficultés d'apprentissage des élèves étaient d'une part liées à la non application de la dualité théorique/pratique de la chimie, et d'autre part à la non spécification des niveaux de savoir dans le programme de chimie. Ce qui engendre de lourdes conséquences dans l'apprentissage malgré les efforts du gouvernement pour l'amélioration de la qualité de l'éducation. Nous avons présenté les causes notamment sur le plan infrastructurel (matériel didactique), et sur la nature du savoir construit. Les multiples intérêts (sur le plan scientifique, sur le plan pédagogique-didactique, sur le plan social) de cette recherche ont été présentés ainsi que la délimitation (thématique, spatiale, temporelle) du champ de recherche. Dans le cadre conceptuel, nous explorons le concept clé de l'étude ainsi que les travaux antérieurs (revue de la littérature) relatifs aux niveaux de savoir dans l'apprentissage de la chimie.

## CHAPITRE 2 : CADRE CONCEPTUEL

Dans ce chapitre, nous nous intéressons aux concepts clés de l'étude à savoir : expérimentation/expérience, dispositif, expérimentation, estérification, saponification, substances, modèles, activité de modélisation... Nous explorons un peu plus en profondeur d'autres concepts en lien avec les niveaux de savoir empirique, macroscopique, microscopique et symbolique / visualisation.

### 2-1 Définition de l'expérimentation

Selon Coquidé (2003), les activités scientifiques entretiennent toujours un lien complexe avec la réalité. Par exemple, entre le rapport au monde et le rapport aux savoirs, il existe une série d'interactions mettant en exergue la résistance au réel qui oblige l'idée à s'adapter et l'effort de la pensée pour atteindre et comprendre les objets et phénomènes. Cette complexité est dans la plupart des cas due à la nature de l'expérience. Ainsi, il est donc impératif de distinguer les types d'expérience : une cumulation empirique et une validation d'hypothèses. Ces deux concourent à la construction du savoir. Pour mieux appréhender cette distinction, il est important de faire un retour sur la distinction établie par l'histoire des sciences entre « *experientia* » et « *experimentum* ». Coquidé (2003), s'appuyant sur l'histoire des sciences précise que, l'« *experientia* » repose sur les faits observables et leur accumulation puisque l'expérience repose sur des faits issus de la démonstration visuelle. Ces faits répétés permettent de prouver la vérité scientifique. L'« *experimentum* » représente, au contraire de l'« *experientia* », une pratique non naturelle qui consiste à se placer dans des conditions dites artificielles, cherchant « à dépasser les apparences et les évidences premières », dans le but « d'établir des preuves pour fonder de nouveaux concepts ». Il s'agit d'une construction d'une situation calculée dans ce dernier cas, et de l'usage d'une nouvelle forme de raisonnement d'après Coquidé (2003). Coquidé retient à cet effet trois modes didactiques de l'expérimental :

- Le mode familiarisation pratique, il s'agit de la première configuration de l'expérimental encore appelé « expérience action ». Ce mode permet aux élèves d'explorer et d'agir à travers des situations variées et diversifiées dans le but d'appriivoiser des phénomènes, des objets, des instruments et d'inciter l'élève au questionnement. Cette première étape permet également à

l'élève de construire une représentation du monde, et de se familiariser avec les phénomènes afin de développer un questionnement scientifique. Le rôle de l'enseignant dans ce type de situation est de créer un environnement propice à l'apprentissage via des questionnements. Ce questionnement crée un débat, des doutes et favorise l'apprentissage.

- Le mode investigation empirique, il s'agit de l'expérimentation proprement dite ou encore de « l'expérience-objet » (deuxième configuration de l'expérimental). Ce mode s'articule autour de l'exploration, de l'investigation heuristique et l'empirie. La logique de ce mode repose sur la résolution ouverte du problème avec un regard particulier sur le type d'activité d'investigation et le type de raisonnement. Le rôle de l'enseignant consiste premièrement à confronter les élèves à un réel peu aménagé, deuxièmement d'aider les élèves à problématiser, troisièmement de faciliter la mise en place des activités d'investigation, quatrièmement d'inciter les élèves à réfléchir, cinquièmement de favoriser les dynamismes et les confrontations.

- Le mode d'élaboration théorique, il s'agit de « l'expérience-validation » ou encore de « l'expérience-outil » (troisième configuration de l'expérimental). Dans ce mode il est question pour l'élève de construire un concept par l'élaboration des modèles scientifiques. Les aller-retour entre le référent empirique et la conceptualisation permet à l'élève d'élargir son champ empirique. Le rôle de l'enseignant est d'aider l'élève dans la validation des hypothèses expérimentales.

Trois indicateurs illustrent l'action d'expérimenter :

- la construction des faits exacts par le contrôle instrumental ;
- la reproductibilité des pratiques empiriques ;
- la conviction des pairs.

Dans la construction des faits exacts par le contrôle instrumental, il est question pour l'élève de maîtriser le protocole expérimental, de même que chaque instrument et son rôle dans la manipulation. Pour la reproductibilité des pratiques empiriques, il est question pour un élève de reproduire la même expérience plusieurs fois afin de convaincre les pairs. Mais dans le cadre de notre étude seule la construction des faits exacts par le contrôle instrumental et la reproductibilité des pratiques empiriques ont été possible d'exploiter au cours de la collecte des données.

## 2-2 Le dispositif d'expérimentation

D'après le dictionnaire français Larousse en ligne (2022), un dispositif est un ensemble de mesures prises, de moyens mis en œuvre pour une intervention précise. Une telle intervention précise nécessite un artefact. En effet, pour réaliser une tâche telle que l'expérimentation, on dispose d'un des artefacts tels que le bécher, la spatule, la soude, le triester, le glycérol, des récipients, de l'eau ... Un dispositif d'expérimentation est donc un ensemble d'artefacts qui permettra la réalisation d'une expérimentation. L'expérimentation proprement dite ici est la saponification que nous allons expliciter ainsi que la réaction inverse : l'estérification.

## 2-3 Estérification

D'après le dictionnaire de français Larousse en ligne (2022), l'estérification est la formation d'un ester à partir d'un acide et d'un alcool, avec élimination d'eau. Pour mieux appréhender l'histoire de l'estérification, il faut remonter aux travaux de Berthelot et Péan de Saint-Gilles au cours de l'année 1862. C'est le chimiste et physiologiste allemand Leopold Gmelin (1788-1853) qui utilisa vers 1850 le terme « ester », contraction de Essigäther (der Essig : le vinaigre + der Äther : l'éther). Dans leur mémoire publié en 1862 sous le titre *Recherche sur les affinités*, Berthelot et Péan de Saint Gilles écrivent : « Les esters sont formés par l'union des acides et des alcools ; ils peuvent reproduire en se décomposant les acides et les alcools. [...] En général, les expériences consistent [...] à faire agir sur un alcool pur un acide pur, les proportions de l'alcool et de l'acide étant déterminées par des pesées précises [...]. Le produit final se compose de quatre corps à savoir : l'ester, l'alcool libre, l'acide libre, l'eau. Mais ces quatre corps sont dans des proportions telles qu'il suffit de déterminer exactement la masse d'un seul d'entre eux, à un moment quelconque des expériences, pour en déduire toutes les autres, pourvu que l'on connaisse les masses des matières primitivement mélangées. [...] Ceci posé, entre les quatre éléments suivants : ester, alcool, acide, eau, le choix ne saurait être douteux, c'est évidemment l'acide qu'il faut déterminer. ». L'ester formée peut être utilisé pour réaliser une saponification.

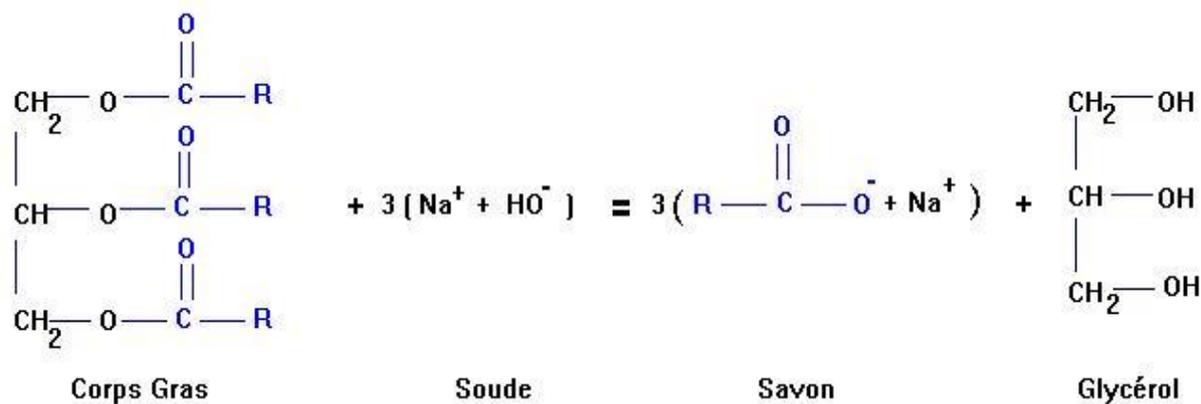
## **2-4 La saponification**

### **2-4-1 Genèse de la saponification**

Dans l'Antiquité jusqu'au Moyen Âge, le savon était très peu connu et quasiment inutilisé. Il s'agit d'une invention des Gaulois. Ces derniers préparaient le savon avec la graisse des chèvres et de la cendre blanche de bouleau. Mais ce savon était juste utilisé pour le lissage des cheveux. D'après Calmels et Wiltner (1947), il semble qu'on employait dans certains pays pour laver du linge, une solution alcaline, et pour nettoyer les draps fins certaines racines de plantes que l'on mettait mariner dans l'eau ce qui formait un liquide mousseux appelé saponaire. Malgré les progrès de la chimie industrielle, on retrouve encore des contrées où la préparation du savon se passe encore comme il y a de cela 2000 ans : suif, chaux et cendre de bois. Cependant, cette méthode traditionnelle fut abandonnée ailleurs avec l'invention artificielle de la soude par Leblanc au profit de la fabrication basée sur les lois rationnelles de la chimie. Le mérite de l'invention de la fabrication des savons par des principes chimiques appartient à l'illustre chimiste appelé Chevreul. L'Angleterre, la France et l'Allemagne furent les trois principaux producteurs de savon après la révolution industrielle.

### **2-4-2 Définition de la saponification**

D'après le dictionnaire français Larousse en ligne (2022), la saponification est la transformation des matières grasses en savons par hydrolyse alcaline. De manière spécifique, il s'agit d'une réaction chimique qui consiste à hydrolyser, sous l'effet d'une base forte, un ester en un alcool et un ion carboxylate. Au cours de la fabrication du savon, le mélange soude corps gras produit du savon et du glycérol. Cette réaction chimique, par sa nature, produit de la chaleur. Mais la quantité de chaleur produite dépend du type de saponification : à chaud, la réaction est rapide, la température est généralement de l'ordre de 120°C, et l'on peut obtenir un précipité au bout de 30 min. A froid par contre, la température oscille entre 50 et 60°, la réaction est lente et peut durer en général plusieurs semaines. Voici un exemple d'équation bilan de la réaction de saponification.



### 2-4-3 Les types de savons

On distingue plusieurs variétés de savons :

- le savon liquide, composés à partir de savon et non de tensioactifs d'origine pétrochimique comme les gels douche ou les bains moussants, il est généralement destiné au lavage du corps ;
- le savon de Marseille, composé de 63 % d'acides gras et résiniques et 28 % d'eau, Il ne contient pas d'additifs et n'est parfumé que d'une goutte de citronnelle ;
- le savon à barbe, qui est un savon mou contenant des stéarates de potassium et de sodium, qui lui confère une mousse persistante ;
- le savon surgras ou enrichi en éléments hydratants, qui est un savon enrichi en éléments surgraisants qui laissent un film protecteur sur la peau et lui évitent de se déshydrater ; cependant, la peau peut paraître plus souple, moins sèche mais cet ajout d'éléments surgraisants n'empêchent pas les peaux sensibles de tirailler.
- les savons synthétiques, fabriqués à partir de tensioactifs d'origine pétrochimique très doux, leur pH est non alcalin, ils ont l'avantage de ne pas précipiter en savon calcaire comme les « vrais savons » ces savons sont plus doux pour la peau que les « vrais savons » ;
- les gels de douche ou les bains moussants, qui sont fabriqués à partir de tensioactifs d'origine pétrochimique, on leur ajoute des additifs et des agents moussants ; cependant, ils sont censés être plus doux que les savons, mais on leur adjoint souvent des additifs (parfums, conservateurs, colorants) qui les rendent finalement irritants pour la peau ;

- les savons déodorants ou bactéricides auxquels on a ajouté des substances pour éliminer les bactéries responsables des odeurs corporelles ;
- le pain dermatologique ou savon sans savon, qui est utilisé pour le lavage des peaux délicates, il existe à l'état liquide et ne provoque aucune allergie ;
- le vrai savon, qui est en réalité un savon traditionnel, fabriqué à base d'acides gras végétaux ou animaux et plus ou moins enrichis en additifs (conservateurs, parfums ...). Ce dernier savon sera au centre de notre ingénierie, il sera réalisé sans additif.

Pour obtenir les savons cités ci-dessus, on peut faire une saponification soit à chaud ou à froid. La différence réside dans la dernière étape. En effet, lorsqu'on remue le mélange, on peut le faire à froid ou à chaud. Pour le savon de Marseille, il s'agit d'une saponification à chaud. Les matières grasses sont associées à une solution de potasse ce qui donne un mélange qui sera chauffé à plus de 120° durant des heures.

#### **2-4-4 Propriétés et importance du savon**

Le savon est un tensioactif. En effet, les molécules de carboxylates  $R-CO_2-Na$  sont dites amphiphiles c'est-à-dire qu'elles sont formées d'une longue chaîne dont une extrémité, polarisée négativement, est hydrophile alors que l'autre extrémité est lipophile. Cependant, l'extrémité lipophile accroche les graisses et l'extrémité hydrophile est attirée par l'eau. De plus, le savon ainsi que la molécule de graisse sont attirés par l'eau de rinçage. Par ailleurs, au cours de la toilette, le savon dissout la graisse constituant le film hydrolipidique qui recouvre la peau. Ainsi, la graisse est entraînée dans l'eau avec les saletés qu'elle contient. Le principal inconvénient est le fait que le film hydrolipidique sert à protéger la peau et à retenir son eau. De plus, le lavage assèche donc la peau, jusqu'à ce que le film hydrolipidique se reconstitue, au bout de plusieurs heures.

Les travaux pratiques portant sur la saponification que nous allons mettre en place, devraient permettre de mettre en exergue les niveaux de savoir empirique, macroscopique, microscopique et symbolique / visualisation.

## **2-5 Définition du niveau macroscopique**

D'après le dictionnaire Larousse en ligne (2022), le macroscopique est ce qui peut être observé à l'œil nu, ce qui relève du visible. Le niveau macroscopique est donc un état que l'on voit. Cependant, plusieurs auteurs donnent un peu plus de précisions sur le concept.

Selon Johnstone (1991), le niveau macroscopique est associé au descriptif. Il est question selon Johnstone de décrire les propriétés observables de la matière. Houart (2009) apporte davantage de précision : le niveau macroscopique regroupe des phénomènes et corps utilisés au cours d'une expérience, par exemple, les substances, les instruments du laboratoire (fiole jaugée, pipette, bécher, éprouvette...). Pour Gilbert et Treagust (2009), le niveau macroscopique comporte les états de la matière à savoir : l'état solide, l'état liquide et l'état gazeux ; ces différents états étant perceptibles à l'œil nu. Ces différentes définitions de ces auteurs gardent le sens originel de celle de Johnstone bien qu'ils spécifient les éléments de compréhension du macroscopique. Ces différentes définitions nous permettront de faire une analyse du langage des élèves.

## **2-6 Définition du niveau microscopique**

D'après le dictionnaire Larousse en ligne (2022), le microscopique concerne ce qui n'est pas visible à l'œil nu, ce qui est très petit. Le niveau microscopique est un niveau qui n'est pas perçu à l'œil nu. D'après Johnstone (1991), le niveau microscopique est associé à l'explicatif : il permet d'expliquer les phénomènes chimiques. Houart (2009) pense que le niveau microscopique appartient au monde construit. Dans ce monde construit, on peut retrouver les ions, les molécules, les atomes... D'après Gilbert et Treagust (2009), ce niveau encore appelé sub-microscopique, tente d'expliquer de manière qualitative les propriétés de la matière. Pour Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2014), le niveau microscopique, bien qu'il comporte les objets et les événements, appartient à ce qu'on appelle le monde reconstruit, c'est-à-dire qu'il n'émane pas de la réalité proprement dite. Par ailleurs, Dehon (2018) pense que le niveau microscopique fait partie des modèles de signification qu'il connecte à une visualisation. Ce niveau de signification a pour composant les entités constitutives de la matière, de même que ses propriétés. Les propos de ces différents auteurs s'inscrivent dans la continuité des travaux de Johnstone (1991). En effet, ils tentent de donner les éléments de clarification et d'explication des propriétés propres à la matière. Ces différentes propriétés ne sont pas perceptibles et

peuvent relever du monde reconstruit de Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2014). Par conséquent, dans le cadre de cette recherche, on assimilera le niveau microscopique associé à l'explicatif et qui appartient au monde reconstruit, muni des différents critères tels que relevé par les auteurs cités.

## **2-7 Le niveau symbolique /visualisation**

D'après le dictionnaire Larousse en ligne (2022), le symbolique est le domaine des symboles. Le niveau symbolique /visualisation est donc un niveau dédié aux symboles. Le niveau symbolique est un concept polysémique : il prend différents sens selon les auteurs. Pour Johnstone (1982 & 1991) par exemple, le niveau symbolique, associé au représentationnel, sert à représenter non seulement les graphiques, mais également les formules chimiques. Quant à Houart (2009), le niveau symbolique est non seulement constitué des lettres de l'alphabet qui servent à représenter par exemple les atomes (symbole du carbone C), mais aussi des symboles mathématiques (+...), qui sont utilisés dans l'écriture d'une équation bilan. Pour Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2014), le niveau symbolique est constitué des symboles, de formules chimiques, des équations et des schémas. Comme Johnstone (1984 & 1991), Taber (2013) et Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2014), pensent que le niveau symbolique permet de représenter les données issues du niveau macroscopique et du niveau microscopique. Cependant, ce niveau est nommé par Dehon (2018) comme un niveau de signification symbolique qui comporte les signes issus du langage mathématique par exemple. Dans le cadre de cette étude, on retiendra que le niveau symbolique permet de représenter les données issues des niveaux macroscopique et microscopique, en se servant des lettres de l'alphabet, des signes, des symboles mathématiques, des images, des graphiques ...

## **2-8 Définition du concept de substance**

La chimie repose sur des substances. En effet, Roletto et Piacenza (1994), montrent que ce concept prend un sens en fonction du contexte dans lequel il est utilisé. Ils l'illustrent avec l'exemple des élèves qui l'assimilent soit à un corps pur simple, un corps pur composé ou bien à un mélange. Si on assimile une substance (niveau macroscopique) comme un corps simple, elle est donc constituée d'un seul type d'atome dont l'association forme une molécule (niveau microscopique). En tant que corps composé, la substance se construit grâce à l'association d'atomes ou d'ions différents, mais regroupés en une molécule identique (niveau

microscopique). C'est le cas par exemple du sel de cuisine (NaCl) : il est constitué d'ions sodium et chlorure dont l'association forme la molécule de chlorure de sodium. Quant à la substance en tant que mélange, cela résulte de l'association de plusieurs corps. Face à ces différentes appréhensions, Roletto et Piacenza (1994) définissent la substance pure à deux dimensions :

- au niveau macroscopique, on dit que la substance pure garde son identité et son homogénéité au cours des changements d'états ;

- au niveau particulaire, on dit qu'elle est constituée du même type de particule.

Les substances utilisées dans le cadre de cette étude sont donc des corps purs composés : la palmitine, la soude, le glycérol, l'acide palmitique.

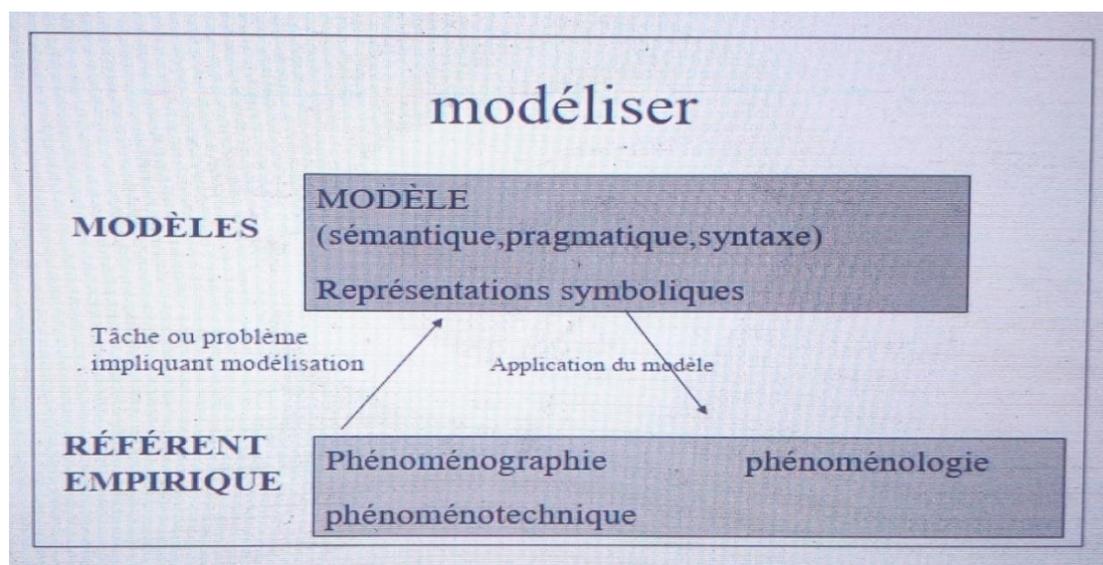
## **2-9 Définition du modèle**

D'après Roy et al. (2014), le modèle est un concept polysémique, les modèles sont nombreux en fonction des multiples phénomènes qu'ils peuvent expliquer et représenter. Pour Bachelard (1979) par exemple, il s'agit d'une représentation de la manière simplifiée du monde réel. Pour Justi et Gilbert (2000, p.994), c'est une « *représentation d'une idée, d'un objet, d'un évènement, d'un processus ou d'un système* ». Pour Martinand (1992, 1994), un modèle est un objet intermédiaire entre la théorie et le phénomène dont la fonction est de représenter, d'expliquer et de prédire. Cette dernière définition de Martinand nous convient pour la recherche puisque les rôles du modèle sont similaires aux rôles des différents niveaux de savoir.

## **2-10 Définition de la modélisation**

D'après Tiberghien (1994), la modélisation est définie comme le passage d'une description initiale des objets et des évènements perçus dans le champ expérimental (phénoménologie), à une description finale en utilisant le monde des théories et des modèles. Pour Martinand (1994), la modélisation peut être perçue comme un outil d'étude d'une réalité, ou encore comme une représentation de la réalité. Cette dernière définition de Martinand semble ne pas s'éloigner de celle de Tiberghien et convient dans cette étude. En effet, les modèles qui sont des élaborations intellectuelles, sont employés pour rendre compte des phénomènes qui parfois n'ont pas d'explication au niveau empirique, mais au niveau microscopique par exemple. De manière spécifique, les modèles sont utilisés dans cette étude lors de la circulation

entre les niveaux de savoir (niveau empirique, niveau macroscopique, niveau microscopique, niveau symbolique/visualisation). Les modèles sont construits en s'appuyant sur le référent empirique. Ainsi, le référent empirique appartient au mode perceptible, tandis que les modèles appartiennent au monde reconstruit théoriquement. Cette tâche de reconstruction est une caractéristique essentielle de la chimie. En effet, reconstruire consiste à montrer ce qui s'est passé (perceptible ou non). La reconstruction peut s'effectuer au niveau empirique, au niveau macroscopique, ou encore au niveau microscopique. Les modèles ont une fonction beaucoup plus large : ils permettent de décrire (niveau macroscopique), de représenter (niveau symbolique /visualisation), d'expliquer (niveau symbolique) et de prédire. Le pouvoir du modèle est donc de fournir des outils nécessaires au questionnement du niveau empirique. Cependant, ils ont un domaine d'application et de validité limités. La figure 2 résume les liens entre les modèles et le niveau empirique. D'après la figure 2, une tâche ou un problème impliquant la modélisation permet de passer du référent empirique (tout ce qui est phénomène) au modèle qui prend en compte la représentation symbolique. Le processus inverse peut se produire c'est-à-dire : les modèles peuvent permettre d'expliquer le niveau empirique. Par exemple, pour un apprentissage de la combustion du butane, pour rendre compte de ce qui se passe au niveau empirique, on utilise des modèles (représentation symbolique dans ce cas). Il est également possible d'appliquer le modèle dans le champ empirique (questionnement du niveau empirique).



**Figure 2 : Différentiation référent empirique et modèle d'après Martinand (1994)**

## **2-11 Conclusion**

Ce chapitre nous a permis de faire des clarifications conceptuelles. En effet, le concept d'expérimentation étudié porte sur la saponification. La réalisation de la saponification nécessite l'usage de substances qui existent au niveau macroscopique (couleurs, ...) et dont on utilise des formules chimiques pour leurs représentations. Le passage entre différents niveaux n'est pas souvent aisé chez l'élève, d'où la nécessité d'explorer les obstacles liés à ce passage.

La deuxième partie étudie les différentes difficultés rencontrées par les élèves au cours des apprentissages et les cadres théoriques.

## **DEUXIÈME PARTIE : CADRE THÉORIQUE**

Cette partie comporte :

- un troisième chapitre qui présente les difficultés rencontrées au cours des apprentissages (revue de la littérature)
- un quatrième chapitre qui présente la théorie des situations didactiques,
- un cinquième chapitre qui présente l'évolution de la théorie des niveaux de savoir.

## **CHAPITRE 3 : DIFFICULTÉS RENCONTRÉES PAR LES APPRENANTS AU COURS DE LA CIRCULATION ENTRE LES NIVEAUX DE SAVOIR (REVUE DE LA LITTÉRATURE)**

Ce chapitre s'appuie sur les travaux de Taskin et Bernholt (2014). Il présente les principales difficultés rencontrées par les élèves au cours de la circulation entre les niveaux de savoir. Taskin et Bernholt (2014) ont effectué des synthèses portant sur de nombreux travaux relatifs aux difficultés d'apprentissage de la chimie : nous avons retenu plusieurs articles issus des revues allemandes et anglo-saxonnes. Nous complétons la version originale (allemande et anglo-saxonne) par des articles issus des revues françaises. Avant de présenter ces différentes difficultés, rappelons que Johnstone (1982) est le premier à mettre en place la théorie des niveaux de savoir face aux difficultés d'apprentissages de la chimie. Pour Johnstone (1982), la plupart des savoirs en chimie sont compris entre les niveaux de savoir macroscopique, microscopique et le symbolique. L'enseignant circule entre ces trois niveaux de savoir sans toutefois être conscient des difficultés des élèves. Ces difficultés sont nombreuses, par exemple, parmi les concepts qui nous intéressent, les élèves ont du mal à distinguer un corps pur composé d'un mélange. Les corps purs composés existent à l'état macroscopique et sont constitués de nombreuses entités existantes au niveau microscopique, et les mélanges résultent d'une simple association de plusieurs corps purs (niveau macroscopique). Dans ce chapitre, nous présentons tout d'abord les difficultés liées aux formules chimiques comprenant notamment les difficultés liées aux molécules, indices, coefficients stœchiométriques ; ensuite, celles liées aux équations bilan des réactions englobant aussi bien les réactifs, les produits, les modèles ainsi que leur interprétation. Nous insistons un peu plus sur les noms, les formules chimiques et les symboles, car ils nous permettent de circuler entre les niveaux de savoir.

### **3-1 Difficultés liées au passage de la formule chimique au nom (niveau macroscopique et symbolique/visualisation)**

Pour écrire les formules chimiques des atomes ou des molécules par exemple, les élèves doivent être capables d'associer un nom à une formule chimique : ce qui n'est pas toujours évident pour eux. En effet, Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2012) ont évalué la capacité des élèves tunisiens (de 10 à 15 ans) à associer les noms aux éléments symbolisés par : H, O, N, S, Na. Seuls 51% des élèves ont donné des réponses correctes. Cependant, lorsqu'on regarde les

initiales des noms des formules chimiques, on se rend compte que la première lettre du nom de l'élément est utilisée dans la majeure partie des cas. Par exemple, l'élément carbone est de formule chimique « C », l'élément soufre est de formule chimique « S ». La marge d'erreur est élevée pour les éléments dont les noms ne se rapprochent pas des initiales. Pour le cas du sodium par exemple, son symbole chimique est « Na » : on note 25% d'erreurs. Fensham (2002) a montré que, la plupart des élèves ont coutume de lire les formules chimiques dans le sens des phrases écrites (de la gauche vers la droite) pourtant, en chimie organique, la convention d'écriture place non seulement le groupe fonctionnel à droite de la formule, mais exige aussi une lecture de la droite vers la gauche. Par exemple, pour la formule chimique ci-après :  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ , le nom scientifique approprié à cette formule est « acide butanoïque ». Cependant, Canac (2020) pense que cette disposition du groupe fonctionnel, qui exige une forme de lecture de la formule chimique de la droite vers la gauche, serait à l'origine d'une surcharge cognitive chez l'élève. Quand est-il du processus inverse ?

### **3-2 Difficultés liées au passage du nom à la formule chimique (niveau macroscopique et symbolique/visualisation)**

Écrire la formule chimique d'une substance connaissant le nom de la substance nécessite une grande mobilisation cognitive. Pour y parvenir, l'élève doit s'intéresser aux éléments constitutifs du nom de la substance. Par exemple, pour le cas du propane, l'élève doit savoir trois choses : premièrement le nombre d'atomes de carbone dont la molécule est constituée, deuxièmement, la famille du composé : pour ce cas, il s'agit d'un composé à trois atomes de carbone appartenant à la famille des alcanes, troisièmement, les symboles des atomes constitutifs de la molécule : pour ce cas, cette molécule est constituée de deux types d'atomes (carbone et hydrogène), le symbole du carbone étant « C » et celui de l'hydrogène « H ». En effet, Mzoughi-Khadhraoui et Dumon (2012) ont montré qu'aucun des 130 élèves tunisiens testés n'ont été capables de donner une formule chimique convenable pour les substances ci-après proposées : chlorure de zinc, hydroxyde de sodium, acide chlorhydrique, chlorure de sodium. Dehon (2018) émet une hypothèse explicative : le symbole chimique du zinc « Zn » serait peu connu des élèves. D'après Dehon, on pourrait penser que les formules chimiques du sodium et de l'acide chlorhydrique qui ne sont pas étroitement liées aux initiales des noms des composés seraient des sources d'énormes difficultés pour les élèves.

### **3-3 Difficultés liées à la position des atomes dans la formule chimique d'une molécule : cas des corps purs composés (niveau macroscopique et symbolique/visualisation)**

Il n'est pas souvent aisé pour les élèves de distinguer les formules chimiques parfois similaires. En effet, d'après Canac (2017), les élèves, jusqu'au niveau licence, considèrent les formules suivantes comme non identiques : HOH, H<sub>2</sub>O, OH<sub>2</sub>. L'ordre d'écriture, source de difficultés, est également présent dans les travaux réalisés par Keig et Rubba (1993) : ces derniers rapportent que les élèves du grade 10 à 12, considèrent le formol de formule chimique CH<sub>2</sub>O comme du carbone « C » rattaché à l'eau « H<sub>2</sub>O ». D'autres apprenants considèrent les formules brutes des corps purs composés comme une juxtaposition des corps purs simples. Comme exemple, d'après Laugier et Dumon (2004), la molécule de dioxyde de carbone « CO<sub>2</sub> » est souvent perçue par les élèves comme une juxtaposition d'un atome de carbone « C » et d'une molécule de dioxygène « O<sub>2</sub> ». Il en est de même pour les élèves qui assimilent l'hydroxyde de cuivre (II) « Cu(OH)<sub>2</sub> » au monoxyde de cuivre « CuO » et à l'eau « H<sub>2</sub>O » pourtant ces deux produits résultent du chauffage de l'hydroxyde de cuivre.

### **3-4 La proportionnalité entre les atomes dans deux formules chimiques : une source d'erreur (niveau microscopique et symbolique/visualisation) ?**

Certains élèves pensent qu'il existe une proportionnalité entre deux molécules. En effet, selon Keig et Rubba (1993), les élèves, jusqu'au niveau licence en France, peuvent considérer deux formules équivalentes lorsque leur nombre d'atomes est proportionnel par exemple : SiO<sub>2</sub> et Si<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Le constat est le même chez Kermen et Canac (2016). Ces dernières précisent que même si les critères de valence ne sont pas respectés, les élèves considèrent les molécules CH<sub>4</sub> et C<sub>2</sub>H<sub>8</sub> comme identiques. Ces deux constats nous amènent à réfléchir aux difficultés des élèves liées aux molécules : principalement sur le processus de formation de la molécule et la nomenclature. Ces élèves ne seraient peut-être pas conscients non seulement du fait que les molécules résultent de l'assemblage des atomes identiques ou différents mais aussi qu'une molécule diffère d'une autre par sa formule brute. Les chercheurs tels que Al-Kunifed (1993) justifient ces erreurs par le fait que les élèves n'interpréteraient pas les formules des molécules comme combinaison constante d'atomes. Par exemple, la molécule CH<sub>4</sub> résulte de la

combinaison d'un atome de carbone et de quatre atomes d'hydrogène. C'est cette combinaison des atomes qui explique le processus de formation de la molécule de méthane.

### **3-5 Difficultés liées aux indices dans les formules chimiques des molécules (niveau symbolique/visualisation)**

L'indice représente le nombre d'atomes présents dans une molécule. Pour le cas de la molécule de  $\text{CuSO}_4$  par exemple « 4 » représente l'indice de l'oxygène. Cependant, Keig et Rubba (1993) pensent que pour les élèves, les indices peuvent être perçus comme le nombre de moles, de doubles liaisons, et n'avoir aucune signification dans certains cas. Par ailleurs, Friedel et Maloney (1992) relèvent une mauvaise prise en compte des indices dans la détermination de la masse molaire par de nombreux élèves et de manière récurrente. Cette difficulté liée aux indices nous permet davantage d'affirmer que les élèves auraient des difficultés au niveau symbolique : cette difficulté est liée à un chiffre qui a un sens approprié dans un contexte précis. C'est certainement l'une des raisons pour laquelle, les élèves confondent parfois les indices avec les coefficients stœchiométriques.

### **3-6 Difficultés liées aux coefficients stœchiométriques (niveau microscopique et symbolique/visualisation)**

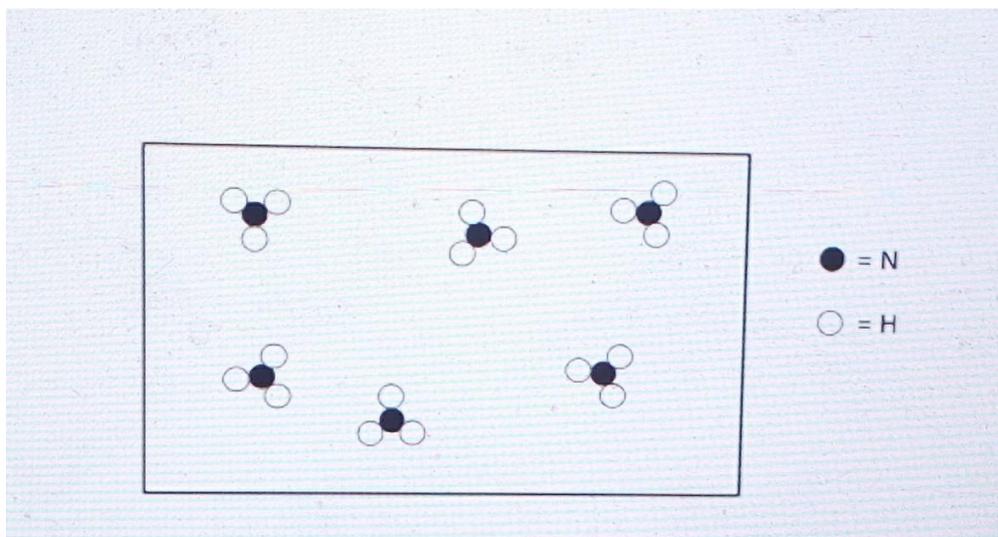
Un coefficient stœchiométrique est un chiffre que l'on place soit devant une molécule ou un atome afin d'équilibrer une équation bilan. Il est souvent une source d'énorme confusion chez les élèves. D'ailleurs, Marais et Jordaan (2000) ont montré que moins de 10% des élèves sont capables d'associer «  $2 \text{NO}_2$  » à « 2 molécules de  $\text{NO}_2$  ». Pour ces élèves, dans la majeure partie des cas, la molécule de «  $\text{NO}_2$  » est constituée d'un atome d'azote « N » et d'une molécule de dioxygène «  $\text{O}_2$  ». Pourtant, une molécule n'est nullement constituée de molécules, mais d'atomes. Ces conceptions alternatives montrent que les élèves ont du mal à appréhender le niveau microscopique. Par ailleurs, les études réalisées par Dehon et Snauwaert (2015) sur les élèves du secondaire belge (scientifiques et non scientifiques) montrent que seuls 10% des élèves voient le coefficient stœchiométrique comme un chiffre à utiliser lors de la pondération d'une équation bilan d'une réaction chimique. Cette interprétation des élèves du coefficient stœchiométrique, montre qu'ils le résumant en termes d'exercice mathématique qui ne fait ressortir nullement les niveaux de savoir macroscopique, microscopique et symbolique. Quand est-il de la différence entre l'indice et le coefficient stœchiométrique ?

### **3-7 Difficultés liées aux indices et aux coefficients stœchiométriques dans les formules chimiques (niveau symbolique/visualisation)**

Il est quelquefois difficile pour les élèves de distinguer un coefficient stœchiométrique d'un indice (Savoy et Steeples, 1994). Ces auteurs montrent que les élèves utilisent les formules suivantes de manières interchangeables : « 3 Cu » et « Cu<sub>3</sub> ». Al-Kunifed *et al.* (1993) ont montré que les étudiants confondent également les indices et les coefficients stœchiométriques. Par exemple, pour le cas de la molécule « 5Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> », ils disent qu'elle contient dix atomes d'oxygène. Pourtant une telle confusion ne devrait pas exister au vu du niveau d'étude : le coefficient stœchiométrique se place devant la molécule et l'indice derrière. Pour les auteurs tels que Yarroch (1985), les élèves pensent que les indices et les coefficients stœchiométriques joueraient le même rôle. Dans certaines équations bilans de réactions chimiques équilibrées, il est possible de retrouver un indice de même valeur qu'un coefficient stœchiométrique : on ne pourrait nullement dire dans ce cas que les coefficients stœchiométriques et les indices jouent un même rôle.

### **3-8 Du schéma particulière à la formule chimique (niveau microscopique et symbolique/visualisation)**

Il n'est pas toujours aisé chez les élèves de donner la formule chimique d'un atome ou d'une molécule partant d'un schéma particulière. En effet, il a été demandé aux étudiants de première année de licence par Arasasingham *et al.* (2004) de proposer des formules chimiques à partir d'un schéma particulière (figure 3) représentant six molécules d'ammoniac à l'état gazeux. Contrairement aux 85% des étudiants qui proposent la formule chimique correcte ci-après « 6NH<sub>3</sub> », les 15% restants proposent des formules chimiques qui ne correspondent pas au schéma particulière. Deux exemples de formules chimiques proposées sont : « (NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub> » et « N<sub>6</sub>H<sub>18</sub> ». Dans la formule « (NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub> », « NH<sub>3</sub> » est une molécule existante. Cependant le chiffre « 6 » n'est pas à la place attendue. Les élèves l'assimilent à un indice pourtant il aurait dû occuper la place du coefficient stœchiométrique.



**Figure 3 : Schéma particulière de l'étude réalisée par Arasasingham et al. (2004) d'après Dehon (2018)**

### **3-9 Difficultés liées aux critères macroscopiques et microscopiques**

Certains élèves, malgré les efforts réalisés par l'enseignant durant les séquences d'enseignement, ne sont pas capables de distinguer les niveaux macroscopique et microscopique. En effet, les travaux ont été réalisés par Canac (2017) sur un échantillon de 603 élèves du collège, du lycée et du cycle licence, *via* un questionnaire portant sur les atomes et les molécules. Il était question pour les apprenants dans ce travail, d'associer les critères macroscopique et microscopique à savoir : « *Dire si les composés suivants sont des corps purs, des mélanges, des atomes ou des molécules : C, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, Fe, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O* ». Les résultats obtenus montrent, pour tout cycle, que la proportion des réponses correctes ne franchit pas les 50% et n'augmente pas de manière significative avec le niveau d'étude.

### **3-10 Difficultés liées au changement du niveau d'interprétation (niveau macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation)**

Les élèves ont souvent de nombreuses interprétations pour différents concepts comme pour l'atome par exemple, ce qui est souvent à l'origine de surcharges cognitives. Ces surcharges cognitives liées au cumul d'informations qui ne sont pas toujours utilisées de manière spontanée dans le cadre de l'apprentissage peuvent empêcher les élèves de changer de

niveau d'interprétation. En effet, Canac (2020), reprenant les travaux de Dehon et Snauwaert (2015), précise qu'un élève a au minimum quatre interprétations possible pour le « Si » :

- une conjonction signifiant un conditionnel,
- l'atome de silicium (niveau microscopique)
- les deux lettres « S » et « i » (niveau symbolique)
- le silicium solide (niveau macroscopique).

Dehon et Snauwaert (2015) ont montré que les élèves ne semblent pas passer d'un niveau d'interprétation à un autre. Cet exemple illustre aussi bien les interprétations possibles pour le signifiant « Si » : il serait difficile pour l'élève seul d'associer le silicium solide à l'atome de silicium ou à sa formule chimique. Cependant, l'enseignant n'est parfois pas conscient de ces obstacles et s'intéresse beaucoup plus au contenu à enseigner.

### **3-11 Difficultés liées à l'écriture d'une équation bilan (niveau macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation)**

Le niveau symbolique comporte les signes, les symboles, les lettres de l'alphabet, généralement utilisés en mathématiques et qui prennent un autre sens dans le cadre de la chimie. Le niveau symbolique qui pourrait peut-être faciliter une circulation entre les niveaux macroscopique et microscopique, regorge de notions issues de ces deux niveaux. Ce lien entre le niveau macroscopique et le niveau microscopique est nettement visible dans l'interprétation d'une équation bilan de réaction chimique. Mais il existe un décalage entre réussir à équilibrer une équation bilan et comprendre sa signification au niveau macroscopique et microscopique (Laugier, 2000). Carretto et Viovy (1994) pensent également que la difficulté majeure de l'équation de réaction réside dans le fait qu'il comporte à la fois les données issues du niveau macroscopique et microscopique. Ils pointent les manuels scolaires qui parlent à la fois d'atomes et de molécules lors de l'équilibrage des équations bilan (niveau microscopique) mais aussi d'éléments chimiques (niveau macroscopique). Ils poursuivent en précisant que deux symboles étaient généralement utilisés pour la notation des atomes : la majuscule pour le macroscopique et la minuscule pour le microscopique. Le niveau symbolique a ainsi une fonction représentative des données issues du macroscopique et du microscopique.

### **3-11-1 Difficultés liées aux réactifs (niveau macroscopique et symbolique/visualisation)**

Les réactifs sont les corps purs initiaux, introduits avant la réaction chimique. Il est souvent difficile pour l'élève de dire avec précision non seulement le comportement des espèces une fois dans le milieu réactionnel mais aussi la quantité de réactifs à utiliser pour qu'une réaction chimique ait lieu. Par ailleurs, dans le cadre d'une étude réalisée par Abraham *et al.* (1992), les auteurs fournissent l'équation bilan non équilibrée de la réaction d'oxydation du fer (III) aux élèves de grade 8 «  $\text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$  » et leur demandent de déterminer la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation de quatre milliards d'atomes de fer. Les résultats obtenus sont les suivants : 6% des élèves pensent que huit milliards de molécules d'oxygène seront nécessaires à la réaction d'oxydation du fer (III) ; 20% des élèves pensent que quatre milliards de molécules d'oxygène sont nécessaires pour l'oxydation de quatre milliards d'atomes de fer. Cette dernière réponse montre la non prise en compte des proportions. La pondération de l'équation bilan donnerait certainement des résultats satisfaisants : en pondérant l'équation bilan, l'élève devrait se rendre compte qu'il faudrait quatre atomes de fer (III) pour trois molécules de dioxygène. Par ailleurs, des travaux similaires sont réalisés par Abraham *et al.* (1994), ils donnent une équation bilan équilibrée aux élèves ( $4 \text{Fe} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), en plus des réponses présentées dans l'étude précédente, on notera de nouvelles réponses, comme la proposition de six milliards de molécules de dioxygène nécessaires à l'oxydation de quatre milliards d'atomes de fer. En regardant de près cette réponse, nous remarquons une prise en compte des coefficients stœchiométriques « 4 atomes de fer et 6 atomes d'oxygène », mais on notera aussi des confusions entre les concepts d'atomes et molécules. Une confusion entre atome d'oxygène et molécule de dioxygène « six milliards de molécule de dioxygène ».

### **3-11-2 Difficultés liées aux produits formés et à l'écriture d'une équation bilan (niveau macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation)**

La détermination de la nature des produits formés à l'issue d'une réaction chimique n'est pas toujours une tâche évidente pour les élèves. En effet, au cours d'une séquence expérimentale réalisée par Laugier (2000), les élèves disposent d'une solution de sulfate de cuivre et d'hydroxyde de sodium. Deux questions leur sont posées : première question « Vous allez mettre en présence ces deux solutions d'après vous que va-t-il se passer ? » (p.9). 12 élèves sur 52 proposent comme réponse « une réaction chimique », 16 élèves sur 52 proposent

la « *formation d'un précipité* », 16 élèves sur 52 proposent la « *formation d'un précipité d'hydroxyde de cuivre* », 18 élèves sur 52 proposent la « formation d'un précipité de sulfate de sodium », 2 élèves sur 52 proposent la « *formation d'un précipité d'oxyde de cuivre* », et enfin 6 élèves sur 52 proposent un « *dégagement gazeux* ». Les résultats de la première question montrent qu'aucun élève ne choisit à la fois les deux produits de la réaction chimique. Pour la seconde question, il a été demandé aux élèves : « *comment pourriez-vous le représenter ?* » (p. 9). Les réponses proposées sont les suivantes : aucun élève ne propose une réponse en utilisant le nom des corps qui réagissent. 26 élèves sur 52 ne proposent aucune formule correcte. 24 élèves essayent d'écrire une équation bilan, 8 élèves écrivent correctement l'équation bilan. Ces derniers résultats indiquent que les élèves n'auraient pas assimilé l'équation bilan étudié. Laugier (2000) pense que les élèves n'appréhendent pas l'équation bilan comme un outil pour représenter ce qui se passe.

### **3-11-3 Difficultés liées à l'interprétation d'une réaction chimique (niveaux empirique, macroscopique et microscopique)**

Pour Solomonidou (1991), la difficulté profonde des élèves réside dans leur incapacité à comprendre le changement de substances (réactif) en de substances nouvelles (produit). D'ailleurs Stavridou (1990) pense, malgré le fait que certains élèves parviennent à identifier les substances au départ (début de la réaction chimique) et à l'arrivée (fin de réaction chimique), qu'ils ne sont cependant pas conscients du réarrangement des atomes qui conduirait à la formation d'une nouvelle molécule. Face à ces difficultés liées à l'interprétation de la réaction chimique, Stavridou (1990) suggère de faire correspondre les phénomènes observés (phénoménologie) et leur représentation au niveau atomique (modèle moléculaire). Ces différentes difficultés montrent comment les élèves ont du mal à circuler sur les niveaux macroscopique et microscopique. Enfin, Kermen et Méheut (2009) situent la transformation chimique dans la réalité, contrairement à la réaction chimique qui se situe dans le modèle moléculaire (réarrangement d'atomes, de molécules). Les élèves réalisent une série d'expérience au cours d'une étude réalisée par Kermen (2016) : « *Après mélange d'une solution de sulfate de cuivre (II) avec de la poudre de zinc, ils ont attendu puis filtré, et ajouté une solution d'hydroxyde de sodium goutte à goutte au filtrat.* » (Kermen, 2016, p.7). Dans cette expérience, il est question pour les élèves d'observer le changement visible (réalité perçue), de faire une description chimique (réalité idéalisée), et d'écrire enfin l'équation bilan de la réaction

chimique ayant lieu (modélisation). Les élèves échouent premièrement à l'identification des espèces chimiques. Après la description (réalité idéalisée) et l'écriture de l'équation bilan de la réaction chimique au tableau, les élèves échouent de nouveau sur la nature de la réaction chimique : ils disent qu'il s'agit d'une « réaction de précipitation. » au lieu de l'oxydoréduction. Les résultats obtenus au cours de cette expérience montrent que, une description de la réaction chimique (réalité idéalisée) nécessite forcément une bonne prise en compte des modèles à des fins interprétatives.

La plupart des élèves ont du mal à interpréter une réaction chimique, car ils ont du mal à expliquer le processus réactionnel. En effet, le processus réactionnel correspond à ce qui se passe durant la réaction chimique. Il est fort probable pour les élèves qui ont des difficultés à écrire une équation bilan de réaction chimique de décrire, d'expliquer ce qui se passe entre les réactifs pendant la réaction chimique. Laugier (2000) réalise une série d'expériences portant sur le cuivre métallique : « *le cuivre métal « disparaît » sous l'action de l'acide nitrique, puis après action d'une solution d'hydroxyde de sodium et déshydratation par chauffage du précipité (hydroxyde de cuivre), « réapparaît » par action du carbone à chaud sur le précipité sec.* » Laugier (2000, p.67). Pour les élèves, il est question :

- de décrire les phénomènes observés au cours de l'expérience, de proposer une explication en s'appuyant sur la phénoménologie personnelle,
- de confronter leurs interprétations,
- d'élaborer une phénoménologie personnelle en lien avec la société et également avec les chimistes.

A l'issue de cette expérience, Laugier (2000) note une incapacité de la part des élèves à imaginer seuls une phénoménologie. Laugier (2000) présente un exemple de réponses des élèves : « *On nous demande de raconter ce qui se passe, mais on ne voit pas ce qui se passe. On voit des couleurs, on sent, mais on ne voit rien ...Moi je vois le début, je vois la fin, mais je ne vois pas le milieu.* » (p. 67). Pour Laugier (2000), malgré la pression de l'enseignant via une série de questions adressées aux élèves, aucun d'eux ne propose une explication liée au niveau microscopique en termes de réarrangement des atomes. Cette expérience réalisée par Laugier (2000) montre à quel point une explication d'un phénomène se déroulant au cours d'une réaction chimique demeure un mystère. Une réaction chimique se déroule par disparition des

réactifs (réarrangement) et apparition (formation) des produits. Les élèves dans la majeure partie des cas se limitent au niveau macroscopique en décrivant les corps ayant disparu ainsi que les corps formés nouvellement en termes de couleurs et d'aspects. L'utilisation d'un modèle de niveau de savoir pourrait aider l'élève à expliquer les phénomènes liés au niveau microscopique. Comme exemple les animations en 3D permettent de représenter et d'expliquer le mouvement des atomes ou des molécules au niveau microscopique.

### **3-11-4 Difficultés liées aux signes présents dans une équation bilan de réaction chimique (niveau symbolique/visualisation)**

Les signes ou symboles mathématiques « + », « - » ou «  $\rightarrow$  », sont généralement utilisés en chimie pour écrire une équation bilan. Mais, il s'avère que leur compréhension dans le cadre de la chimie est souvent sources d'énormes difficultés. Une hypothèse explicative pourrait être le fait que les signes ou symboles mathématiques n'ont pas toujours les mêmes significations dans le cadre de la chimie.

Pour le signe « + », d'après Al-Kunifed *et al.* (1993), les élèves gardent la signification mathématique du signe « + » dans le cadre des réactions chimiques. D'ailleurs, cette signification est quelquefois valable : lorsque Lavoisier énonce la loi de conservation de la matière : la somme des masses des réactifs est égale à celle des produits, nous avons bien le terme somme qui rejoint la signification mathématique. Cependant, des chercheurs tels que Marais et Jordaan (2000), interprètent le signe « + » dans le sens d'une équation bilan par « réagit avec ». En effet, une étude réalisée par Dehon et Snauwaert (2011) sur la signification du signe « + » qui se situe entre les réactifs, montre que 30% des élèves des groupes constitués pour cette étude, proposent « réagit avec ». Il s'agit d'une réponse habituelle que l'on retrouve dans le langage des enseignants. Pour le second signe « + » se trouvant entre les produits, l'analyse laisse croire que les élèves l'assimileraient à « et » ; par exemple le corps 1 réagit avec le corps 2 pour donner le corps 3 et le corps 4. L'interprétation « réagit avec » sera remise en cause par Dehon (2018) car cela crée une confusion avec l'interprétation de la flèche présente dans l'équation bilan de la réaction chimique.

Une flèche «  $\rightarrow$  » est un symbole utilisé en chimie pour écrire une équation bilan de réaction chimique. Cette flèche prend un sens selon le contexte utilisé. D'après Dehon (2018), la différence fondamentale entre une équation mathématique et une équation chimique se situe

au niveau de la flèche. Au cours d'une étude réalisée par Marais et Jordaan (2000), seuls 20% des étudiants de première année du cycle de licence proposent une réponse correcte (« *react to form* ») à la signification de la flèche. Par ailleurs, les résultats d'une étude réalisée par Dehon sur la signification que les élèves du secondaire belge prêtent à une flèche présente dans une équation bilan de réaction chimique montrent que 80% des élèves proposent une réponse correcte « *pour donner* ». Pour le cas de la double flèche, 30% des élèves donnent une réponse correcte. Ces erreurs liées aux flèches montrent que les élèves ne maîtrisent pas l'interprétation d'une réaction chimique quelquefois dues aux surcharges cognitives. En effet, cette surcharge cognitive s'explique par le fait que les concepts chimiques sont quelquefois abstraits pour les élèves.

### **3-12 Différence entre transformation chimique et transformation physique**

Afin de mieux interpréter une transformation chimique, il est important de la distinguer des transformations physiques. En effet, au cours d'une transformation physique, la nature du corps reste inchangée contrairement à la transformation chimique. Cette distinction de transformation chimique / physique n'est pas innée chez l'élève. Par ailleurs, les travaux réalisés par Stavridou (1989) sur les élèves grecs âgés de 8 à 17 ans montrent que ces derniers n'utilisent pas de critères scientifiques pour distinguer une réaction chimique d'une transformation physique. Ils utilisent des critères non seulement hérités de la vie de tous les jours, mais aussi qui leur sont propres. Pour ces élèves par exemple, une transformation physique se produit naturellement, contrairement à la transformation chimique qui est provoquée par l'homme.

### **3-13 Difficultés liées à la non maîtrise du concept de la mole (niveau microscopique)**

Une mole désigne une unité de mesure de la quantité de matière. La matière étant formée d'atomes, l'association des atomes donne une molécule. Selon Barlet (1994), les élèves rencontrent des difficultés au niveau microscopique : la compréhension du passage de la molécule à la mole, de l'atome à la mole ou de l'ion à la mole, n'est pas aisée chez les élèves. Une étude portant sur la maîtrise de la notion de mole a été réalisée par Chastrette et Cros (1985) sur un échantillon d'élèves et d'étudiants dont la tranche d'âge est comprise entre 16 et 20 ans. Les résultats obtenus montrent que le pourcentage de bonne réponse varie quelquefois très

fortement de la classe de seconde (C, D ou F) au DEUG (A 1<sup>ère</sup> année, B 1<sup>ère</sup> année et B 2<sup>ème</sup> année).

Cependant, on note quelques erreurs chez les élèves :

- Une confusion entre la mole et l'atome ;
- Une mauvaise prise en compte de la stœchiométrie de la réaction chimique ;
- Une confusion entre une molécule et un atome. Les élèves considèrent la molécule de dioxygène et l'atome d'oxygène comme identique.

Ces dernières erreurs montrent davantage qu'ils ont des difficultés au niveau microscopique.

### **3-14 Difficultés liées aux modèles (microscopique et symbolique/visualisation)**

Les modèles sont utilisés en chimie pour rendre compte de la réalité. Ils permettent aux élèves de mieux appréhender ce qui se passe aux niveaux atomique et moléculaire. D'après Ben-Zvi, Eylon et Sylberstein (1982), la mauvaise compréhension des concepts liés aux modèles atomiques et l'incapacité à les utiliser correctement pour interpréter les phénomènes sur le plan macroscopique seraient une source des difficultés des élèves. Une source de difficulté des élèves peut être la définition du modèle proprement dit. En effet, d'après Anderson (1990), il est important de faire une distinction entre le modèle, la libre construction de l'esprit humain (représentation idéalisée) et l'observation (représentation réelle) des substances au niveau macroscopique, afin d'assurer le transfert des propriétés du monde macroscopique au monde microscopique. Pour Laugier (2000), ce transfert de propriétés implique aussi un changement de registre (du macroscopique au symbolique ou encore du microscopique au symbolique). Pour Anderson *et al.* (1993) il est difficile pour l'élève d'effectuer ce changement de registre. Cette non maîtrise des modèles n'est pas sans conséquence dans l'apprentissage. En effet, pour des auteurs comme Nakhled (1992), certains étudiants qui maîtrisent le modèle atomique (particules en mouvement constant, séparées par le vide) ne sont pas capables de l'utiliser sur le plan représentatif, interprétatif et prédictif des phénomènes chimiques. Malgré les obstacles rencontrés par des élèves face à la modélisation, les modèles demeurent un puissant outil de compréhension profond des phénomènes au niveau microscopique : les phénomènes chimiques se déroulant au niveau microscopique ne sont pas visibles, leur compréhension n'est pas aisée sans usage des modèles qui permettent d'expliquer le comportement des atomes ou des molécules dans un milieu réactionnel.

### 3-15 Récapitulatif des difficultés en fonction des auteurs

**Tableau 1 : Récapitulatif des difficultés rencontrées au cours de la circulation entre les niveaux de savoirs au fil du temps en fonction des auteurs**

Auteurs	Année	Principale difficulté recensée
Fensham	2002	Difficultés liées au passage du nom à la formule chimique et inversement
Dumon et Mzoughi-Khadhraoui	2012	
Canac	2020	
Keig et Rubba	1993	Difficultés liées à la position des atomes dans une molécule chimique.
Laugier et Dumon	2004	
Dumon et Mzoughi-Khadhraoui	2012	
Canac	2017	
Keig et Rubba	1993	Difficultés liées à la proportionnalité entre les atomes dans une formule chimique
Kermen et Canac	2016	
Al-Kunifed	1993	
Friedel et Maloney	1992	Difficultés liées à un indice présent dans une molécule.
Keig et Rubba	1993	
Marais et Jordaan	2000	Difficultés liées aux coefficients stœchiométriques
Dehon et Snauwaert	2011	
Yarroch	1985	Difficultés liées aux coefficients stœchiométriques et aux indices
Al-Kunifed et Al.	1993	
Savoy et Steeples	1994	
Arasasingham et Al.	2004	Difficultés liées au passage d'un schéma particulière à une formule chimique
Canac	2017	Difficultés liées au critère macroscopique et microscopique
Dehon et Snauwaert	2015	Difficultés liées au changement du niveau d'interprétation
Canac	2020	
Laugier	2000	

Carreto et Viovy	1994	Difficultés liées à l'écriture d'une équation bilan
Abraham et Al.	1992, 1994	Difficultés liées aux réactifs
Keig et Rubba	1993	Difficultés liées aux produits des réactions chimiques
Laugier	2000	
Solomonidou	1991	Difficultés liées à l'interprétation d'une réaction chimique
Stavridou	1990	
Kermen et Méheut	2009	
Kermen	2016	
Laugier	2000	
Al-Kunifed et Al.	1993	Difficultés liées aux signes présents dans une équation bilan de réaction chimique
Marais et Jordaan	2000	
Dehon et Snauwaert	2011	
Dehon	2018	
Stavridou	1989	Difficultés liées à différenciation entre transformation chimique et transformation physique
Barlet	1994	Difficultés liées à la mole
Chastrette et Cros	1985	
Ben-Zvi, Eylon, Sylvie	1982	Difficultés liées au modèle
Anderson	1990, 1993	
Nakhled	1992	

### 3-16 Conclusion : bilan des difficultés et hypothèses de recherche

Ce chapitre nous a permis de retracer les difficultés des apprenants liées aux niveaux de savoir répondant ainsi à la question de recherche ci-après sous réserve du prétest : « Quelles sont les origines des difficultés rencontrées par les élèves au cours de la circulation entre les niveaux de savoir ? ». Comme élément de réponse à cette question, nous avons : les élèves ont du mal à écrire une formule chimique partant du nom et réciproquement ; il en est de même pour l'écriture d'une équation bilan. Il est difficile pour les élèves de donner la signification des

signes présents dans une équation bilan de réaction chimique et aux concepts (réactifs, produits) qui lui sont liés. Les enseignants ne sont pas parfois conscients du fait de la nécessité de maîtriser les différents niveaux de savoir. Par exemple, la maîtrise de l'écriture d'une équation bilan de réaction chimique nécessite pour l'élève une connexion aussi bien aux niveaux empirique, macroscopique, microscopique et symbolique. Il est difficile pour l'élève d'expliquer ce qui se passe pendant la réaction chimique en termes de réarrangement des atomes dans les molécules afin d'obtenir de nouveaux corps. Cette lacune des élèves peut s'expliquer par la non spécification des savoirs en termes de niveaux dans certains curricula de chimie comme nous l'avons précisé dans la problématique de la présente étude. Les difficultés rencontrées par les élèves pourraient se résumer à la non distinction des niveaux de savoir. L'analyse des différents modèles des niveaux de savoir permettra d'étayer davantage les éléments constitutifs de chaque niveau de savoir et sera susceptible d'aider les élèves ainsi que les étudiants du cycle licence à circuler entre les niveaux de savoir. Avant d'analyser les différents niveaux de savoir, il est primordial d'une part de présenter les cadres théoriques sur lesquels s'appuiera la recherche, et d'autre part de mettre en place l'ingénierie didactique dont on évaluera l'influence sur la distinction des niveaux de savoir. L'influence relevée permettra de répondre à la deuxième sous question de recherche dont nous formulons l'hypothèse ci-après : le dispositif d'expérimentation portant sur la saponification améliore la distinction des niveaux empirique, macroscopique, microscopique et symbolique /visualisation.

# CHAPITRE 4 : LA THÉORIE DES SITUATIONS

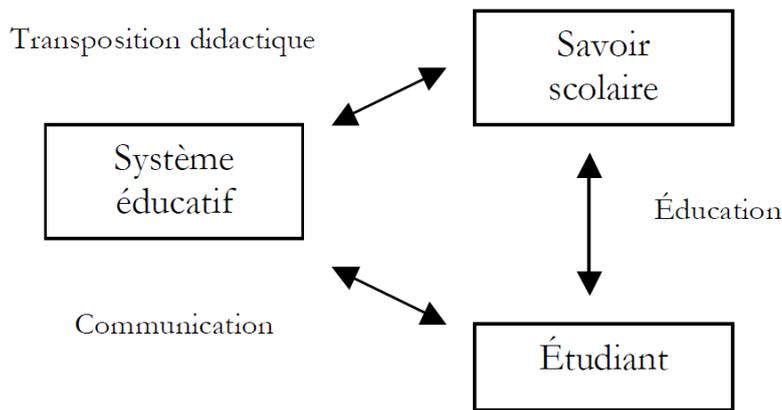
## DIDACTIQUES

Deux cadres théoriques ont été convoqués dans cette étude : la théorie des situations didactiques grâce à laquelle est née l'ingénierie didactique, ainsi que la théorie des niveaux de savoir. Ce chapitre porte sur la théorie des situations didactiques.

Encore appelée théorie des situations mathématiques, la théorie des situations didactiques élaborée par Brousseau (1998) offre un cadre pour l'étude des situations mathématiques. De plus, grâce à ses nombreux apports dans l'apprentissage, cette théorie est utilisée dans de nombreuses disciplines telles que la chimie (Dehon, 2018), la physique (Benseghir, 2004), la géographie (Thémines, 2016), les sciences de la vie et de la terre (Marzin et al. (2003) ...). Dans cette partie, on s'appuiera sur l'exposé portant sur les situations didactiques réalisé par Alain Kuzniak (2004) qui reprend la plupart des travaux réalisés par Brousseau. On explorera au préalable les situations didactiques, ensuite, les situations adidactiques, l'institutionnalisation. L'ensemble des situations (didactique et adidactique) est régulé par un contrat didactique.

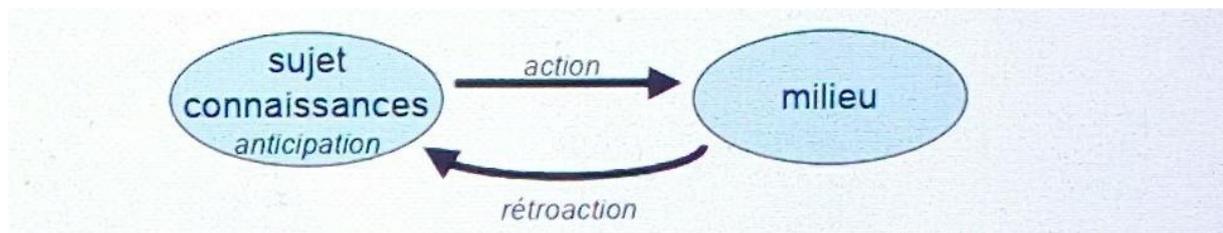
### 4-1 Les situations didactiques

D'après Brousseau (1998), le terme situation désigne l'ensemble des circonstances dans lesquelles un individu se trouve, et les situations qui l'unissent à son milieu. Une situation didactique est une situation dans laquelle se manifeste indirectement ou directement la volonté d'enseigner. Le but d'une situation est de permettre à l'élève d'accéder au savoir à travers la résolution du problème posé. Afin d'illustrer sa conception des situations didactiques, Brousseau (1998) s'appuie sur le triangle didactique. Dans ce triangle (Figure 4), le processus enseignement apprentissage se déroule en trois pôles : le système éducatif, l'étudiant et le savoir scolaire. Ces trois pôles sont en interaction. Si on regarde le triangle du côté du système éducatif, son rôle est de transmettre et de communiquer le savoir à l'étudiant.



**Figure 4 Triangle didactique servant de cadre d'appui à la mise en place des situations didactiques de Brousseau (1998)**

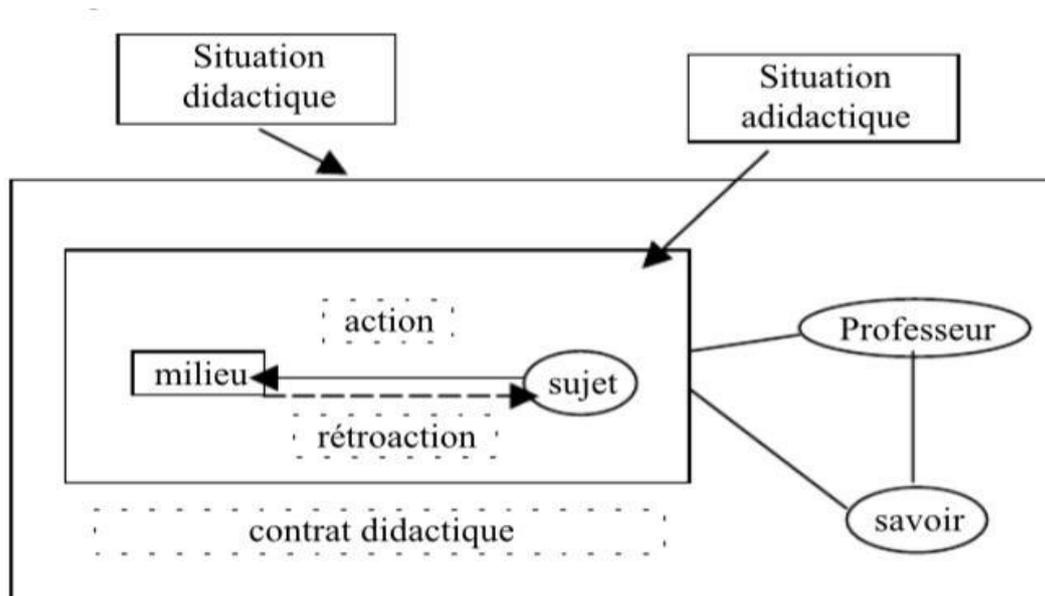
Si on se place du côté de l'élève, comme indiqué à la figure 5, on note que l'élève apprend en s'adaptant à un milieu producteur de difficultés, de déséquilibres et de contradictions. Après avoir appris, il trouve son équilibre dans sa relation avec le milieu.



**Figure 5 : Interaction du sujet avec le milieu d'après Brousseau (1998)**

#### 4-2 Les situations adidactiques

D'après Brousseau (1998), dans une situation adidactique, le maître se refuse d'intervenir comme processeur de connaissances qu'il veut voir apparaître. L'élève à son tour est conscient du fait que la situation a été choisie pour lui permettre d'acquérir une connaissance nouvelle. Par ailleurs, dans ce type de situation, les interactions entre l'élève et le milieu doivent être adéquates afin de produire un savoir. La situation adidactique, est porteuse du milieu auquel l'élève va s'adapter. Elle doit être provoquée et gérée par l'enseignant (Figure 6).



**Figure 6 : La place de l'enseignant dans une situation adidactique d'après Brousseau (1998)**

De nombreuses conditions doivent être remplies afin de définir une situation adidactique :

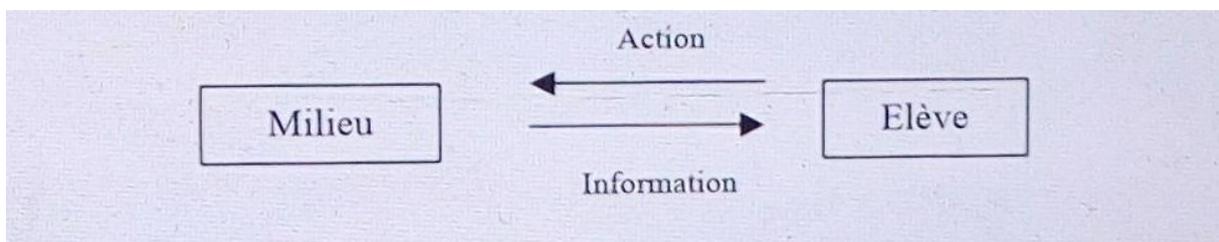
- il faut que le jeu soit répétable pour que l'élève puisse s'adapter.
- il faut un milieu riche en interaction pour la validation.
- il faut au préalable élaborer une stratégie de base avant de passer à une stratégie optimale ;
- la stratégie de base doit se révéler très vite insuffisante ou inefficace pour que l'élève soit contraint de faire des accommodations, des modifications de son système ;
- l'élève peut vouloir envisager une réponse mais cette réponse initiale n'est pas celle que l'on veut enseigner ; en effet, si la réponse était déjà connue, elle ne serait pas une situation d'apprentissage. De plus, Brousseau (1998, p.61) pense que « *sans stratégie de base l'élève ne comprend pas le jeu, même si la consigne est claire.* ».

#### **4-2-1 Les types de situations adidactiques**

Les situations adidactiques ont été mises en place par Brousseau afin de laisser une grande marge de manœuvre et de prise de décisions au cours de l'apprentissage sans l'intervention de l'enseignant. Elles sont en général au nombre de trois.

#### 4-2-2 les situations d'action

Dans cette situation, l'élève réagit avec le milieu (Figure 7) avec lequel il est confronté. « *Agir* » d'après Brousseau consiste pour un élève, à choisir directement les états du milieu antagoniste en fonction de ses propres motivations. Selon Brousseau, si le milieu réagit avec une certaine régularité, le sujet peut être conduit à anticiper ses réactions et à en tenir compte dans ses propres actions. C'est donc cette anticipation qui aide l'élève à s'adapter au milieu. Mais, les connaissances permettent de produire et de modifier ces anticipations. L'apprentissage intervient donc comme un processus au cours duquel les connaissances se modifient. De plus c'est la modification progressive des connaissances qui permet à l'élève de s'adapter progressivement au milieu, au fur et à mesure qu'il interagit. En effet, selon Brousseau, l'élève considère comme milieu objectif, l'ensemble des objets et les relations qui ne dépendent ni de ses actions et connaissances, ni de celles du professeur. Ce milieu est mobilisé dans une situation d'action et il est considéré d'une part comme un milieu fictif où l'élève doit connaître et imaginer son fonctionnement afin de répondre à une question, d'autre part, comme un milieu dans lequel l'élève est appelé à agir. L'élève apprend en corrigeant ses actions : la situation d'action dans laquelle il est engagé constitue un milieu de référence. Le rôle de l'ingénierie didactique (Artigue, 1988) dans cette situation didactique, selon Brousseau (1998), est d'identifier ou de produire des milieux didactiques dont le contrôle exige la mise en œuvre des connaissances, mais aussi de distinguer les situations qui permettront une création des connaissances par adaptation spontanée de l'élève, de celles auxquelles l'adaptation spontanée est immédiate ou impossible. La situation de formulation intervient après celle de l'action.



**Figure 7 : Interaction élève milieu durant la phase d'action d'après Brousseau (1998)**

### **4-2-3 La situation de formulation**

Pour traverser la phase d'action, il est important pour l'élève de développer une situation de formulation, qui dans la majeure partie des cas est appuyée par le fait que l'élève doit obligatoirement communiquer avec ses camarades. En effet, selon Brousseau, la formulation d'une connaissance correspondrait à une capacité du sujet à la reprendre (la reconnaître, l'identifier, la décomposer et la reconstruire dans un système linguistique). Le milieu qui doit rendre nécessaire l'usage par le sujet d'une formulation doit donc comporter (effectivement ou fictivement) un autre sujet à qui le premier devra adresser une information. Dans cette situation, l'élève interagit avec un autre élève sous le contrôle d'un milieu externe, de telle manière que ni l'un ni l'autre élève ne puisse le faire seul et que le seul moyen d'y réussir soit d'obtenir de l'autre élève la bonne formulation des connaissances visées. Par ailleurs, la formulation des questions exige un répertoire linguistique adapté (syntaxe, vocabulaire). De plus, l'acquisition de ces répertoires accompagne celle des connaissances que l'élève exprime bien que le processus soit distinct : l'acquisition des connaissances peut se faire directement comme dans la phase d'action, ou par conversion en modèles implicites d'acquisition obtenus par les formulations et les communications.

### **4-2-4 La situation de preuve ou de validation**

Dans la situation de preuve, il n'est pas question de se limiter à l'échange d'informations, mais de coopérer avec le partenaire dans la recherche de la vérité. De plus, l'élève qui est en réalité l'émetteur n'est plus un informateur, mais un proposant. Son camarade (le récepteur) est un opposant. Ils s'opposent à chaque instant dès que le doute s'installe, de manière à rattacher le nouveau savoir à un champ de savoir déjà existant. Il s'intéresse également à la relation entre un milieu et le savoir formulé relatif à ce milieu, en cas de contradiction entre les deux interlocuteurs, non seulement une démonstration est immédiatement exigée par l'autre interlocuteur, mais aussi une application des déclarations dans la situation d'action avec le milieu est exigée (Brousseau, 1998). Par ailleurs, dans ce type de situation, les élèves organisent les énoncés en démonstration, construisent des théories, des ensembles d'énoncés de références. Ils apprennent aussi comment convaincre les autres ou se laissent convaincre sans céder aux arguments rhétoriques comme la séduction, l'autorité, l'amour propre, l'intimidation ... Par ailleurs, chaque situation peut faire évoluer l'élève dans la production d'une connaissance grâce à une succession de questions et de réponses nouvelles.

Dans ce processus appelé dialectique, la succession des situations d'action, de formulation et de validation peuvent se conjuguer pour accélérer la construction des connaissances.

#### **4-2-5 L'institutionnalisation**

La phase de l'institutionnalisation permet de passer de la connaissance au savoir, cette phase permet de donner un statut au savoir. En effet, selon Brousseau, que ce soit dans l'activité individuelle de l'élève ou dans le rapport entre les institutions, le fonctionnement des connaissances est différent de celui du savoir. Brousseau pense que l'institutionnalisation permet à la connaissance de traverser le rôle de résolution d'une situation d'action, de formulation, de preuve ou de validation à un nouveau rôle, qui est celui de référence, de preuve pour les utilisations futures. En effet, l'institutionnalisation est capitale car, elle permet d'assurer le passage d'une connaissance reliée à une situation vécue de manière individuelle et contextualisée, à un savoir actif et décontextualisé dans une institution donnée.

#### **4-2-6 Le contrat didactique**

Le contrat didactique est un concept central dans les situations didactiques. Dans une situation didactique, il y a une intervention didactique de l'enseignant, par contre, dans une situation adidactique, aucune intervention didactique n'est envisagée. L'élève élabore une connaissance dont il ignore le statut dans le milieu avec lequel il interagit. L'élève fait confiance à l'enseignant qui a une part de responsabilité dans les résultats de l'élève. Le contrat didactique selon Brousseau (1986) est comme une relation qui détermine implicitement et explicitement ce que l'enseignant et l'enseigné ont la responsabilité de gérer et dont ils seront responsables l'un envers l'autre. Par ailleurs, lorsqu'une nouvelle notion est introduite au cours d'un apprentissage, cela modifie le contrat : une renégociation est nécessaire. Par exemple, au cours d'un enseignement de la matière en classe de 4<sup>e</sup>, lorsque l'enseignant décrit la matière au niveau macroscopique, l'élève semble apprendre aisément puisque cela relève du visible. Cependant, lorsqu'il s'intéresse au volet microscopique, en décrivant des choses abstraites, il y a changement de contrat didactique ce qui est susceptible de créer un obstacle à l'apprentissage.

#### **4-3 Conclusion et implication pour la recherche**

Ce chapitre nous a permis d'illustrer la théorie des situations didactiques à travers la situation didactique, la situation adidactique, et, l'ensemble est régulé par un contrat didactique

dont sa mauvaise formulation n'est pas sans conséquence pour l'apprentissage. Le milieu, en tant que concept clé de cette théorie permet à l'élève d'interagir et favorise par conséquent la construction des connaissances. Ce milieu permet aussi de spécifier le rôle de l'enseignant et celui de l'élève relativement au savoir. En effet, cette spécification est essentielle dans l'élaboration des ressources à partir desquelles les élèves interagiront. Par ailleurs, cette théorie a été convoquée dans notre étude parce qu'il s'agit plus précisément d'une théorie à partir de laquelle est née l'ingénierie didactique. Nous voulons en effet concevoir une situation d'apprentissage favorable à la résolution d'un problème d'une manière autonome. Il est important d'étudier l'évolution de la théorie des niveaux de savoir qui servira de cadre d'analyse des contenus de cette ingénierie didactique.

## CHAPITRE 5 : LA THÉORIE DES NIVEAUX DE SAVOIR

Dans ce chapitre, nous présentons l'évolution de la théorie des niveaux de savoir au fil du temps. Cette théorie, principalement centrée sur le macroscopique, le microscopique et le symbolique, a été mise au point par les auteurs tels que : Johnstone, Houart, Gilbert, Treagust, Kermen, Méheut, Talanquer, Taber et enfin Dehon. Nous précisons les apports de chaque auteur dans cette évolution. Nous terminons ce chapitre en justifiant notre choix dans le cadre de cette recherche.

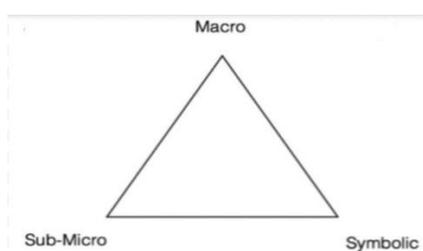
En 1982, Johnstone met au point la théorie des niveaux de savoir suite au questionnement sur les difficultés d'apprentissage de la chimie : « Pourquoi la chimie est-elle si difficile à apprendre ? » Face à ce questionnement, il y formule en 1984 des hypothèses explicatives : il s'agit notamment de la chimie en elle-même qui est difficilement accessible, le déroulement du processus d'enseignement qui pose problème et enfin la démarche d'apprentissage des élèves qui entre en conflit avec les deux autres hypothèses.

### 5-1 Johnstone et le « chemistry triplet » de 1982

Dans la version de 1982, les buts de Johnstone sont clairement définis : faire un suivi pédagogique et mieux organiser les apprentissages car pour lui les pratiques enseignantes et les processus d'apprentissage ne sont pas en phase. Johnstone propose un angle sous lequel on peut aborder la chimie : il s'agit des niveaux de pensée. Dans ces niveaux de pensée, on retrouve les niveaux de description, de représentation et d'explication ; des éléments de clarification de ces niveaux y sont associés par Johnstone. Par exemple, le niveau de description est associé à l'observable, le niveau explicatif est associé au comportement des atomes et enfin le niveau représentationnel est associé aux formules chimiques et même aux graphiques. Ces niveaux occuperont une place primordiale dans l'apprentissage. En effet, les enseignants pourront mieux expliquer aux élèves les phénomènes jugés abstraits d'une part, et d'autre part, une bonne circulation entre ces niveaux par les apprenants pourra résoudre leurs difficultés d'apprentissage facilitant ainsi leurs ancrages dans la discipline (chimie). Ces niveaux de pensée seront longtemps critiqués, ajustés par les chercheurs durant les quarante années suivantes. Ces ajustements débutent par Johnstone lui-même qui renomme les niveaux de pensée en 1991.

## 5-2 Johnstone et le « chemistry triplet » de 1991

En 1991, Johnstone mentionne que, beaucoup d'efforts ont été consacrés aux techniques de transmission des connaissances, sans toutefois s'interroger de manière profonde sur la façon dont l'élève apprend et surtout sur la nature du discours qui est véhiculé et sa pertinence au cours des apprentissages. Une illustration des propos de Johnstone (1991) concernant la nature du message véhiculé est la mauvaise formulation de certaines questions adressées aux apprenants par les enseignants au cours des apprentissages qui constituent non seulement des non-sens, mais aussi ne facilite pas les apprentissages. Comme exemple de mauvaise tournure de questions adressées aux apprenants, nous avons : « pourquoi le verre est-il fragile ? », ce type de question ouvre sans doute un boulevard de réflexion chez l'apprenant dans la mesure où elle ne donne aucune orientation de réponse. Face à ces problèmes liés aux apprentissages et toujours non résolus malgré ses travaux de 1982, il propose une nouvelle version du « chemistry triplet ». Il s'agit plus précisément d'une version améliorée. Dans cette version, le niveau macroscopique est associé au descriptif, le niveau sub-microscopique à l'explicatif ; et le niveau symbolique au représentationnel. Ces niveaux ont été représentés au sommet d'un triangle. Pourquoi l'usage du triangle ? Pour Johnstone (1991), dans les années 60, les projets de programmes scolaires avaient coutume d'essayer de s'installer sur un trépied conceptuel (support constitué de trois pieds renfermant des concepts) ; c'était le cas pour la chimie qui devait se reposer sur une structure, une liaison et une énergie. Dans cet ensemble reposant sur ces trois concepts (structure-liaison-énergie) on y retrouvait des niveaux de pensée représentés sous forme de triangle. Selon Johnstone, les triangles sont certes utilisés en chimie, mais largement dans d'autres domaines des sciences. C'est le cas des triangles didactiques et pédagogiques qui sont utilisés dans une pléthore de disciplines. La figure 8 illustre le triangle des niveaux pensée de Johnstone (1991).



**Figure 8 : Triangle des niveaux de pensée de Johnstone 1991**

Quatre interprétations structurent le triangle de Johnstone :

-une interprétation centrée sur le système abstrait/concret, c'est le cas du monde macroscopique qui est concret ; le monde symbolique est abstrait, et enfin le monde microscopique qui est un hybride des deux.

-une interprétation centrée sur le système registre empirique/registre des modèles : le niveau macroscopique s'inscrit dans le registre empirique, les niveaux symbolique et sub-microscopique s'inscrivent dans le registre des modèles.

-une interprétation centrée sur le système descriptif, explicatif et représentationnel. Le niveau macroscopique est associé au descriptif, le niveau microscopique à l'explicatif et le niveau symbolique au représentationnel.

-une interprétation centrée sur les moyens de communication entre les trois niveaux de savoir ; c'est le cas du niveau symbolique qui se caractérise par des symboles et qui permet de communiquer lorsqu'on se trouve dans l'un de ces niveaux de savoir.

Malgré ces interprétations qui structurent le triangle de Johnstone, nous notons une absence d'éléments de communication liés aux concepts caractérisant précisément chaque niveau de savoir et permettant de se déplacer d'un niveau de savoir à un autre. C'est le cas illustré par Johnstone (1991) concernant la dissolution du chlorure de sodium où l'enseignant passe brutalement de l'expérimentation (niveau macroscopique) à l'écriture de l'équation bilan de la réaction (niveau représentationnel) sans toutefois expliquer le mécanisme de transition. Ce passage brutal n'aide sans doute pas les élèves à apprendre ; car si l'enseignant circule aisément entre les niveaux macroscopique et représentationnel, ce n'est pas toujours le cas pour l'élève qui doit d'abord apprendre. Comme le précise Johnstone (1991), il a fallu des siècles aux meilleurs cerveaux scientifiques d'Europe pour comprendre certains phénomènes expérimentaux comme l'électrolyse, et comment voulons-nous que l'élève apprenne en si peu de temps quelque chose qui n'est pas bien structuré. Par conséquent, Houart reprendra les travaux de Johnstone tout en donnant à chaque niveau des éléments précis permettant de les caractériser.

### 5-3 Houart et le « chemistry triplet » de 2009

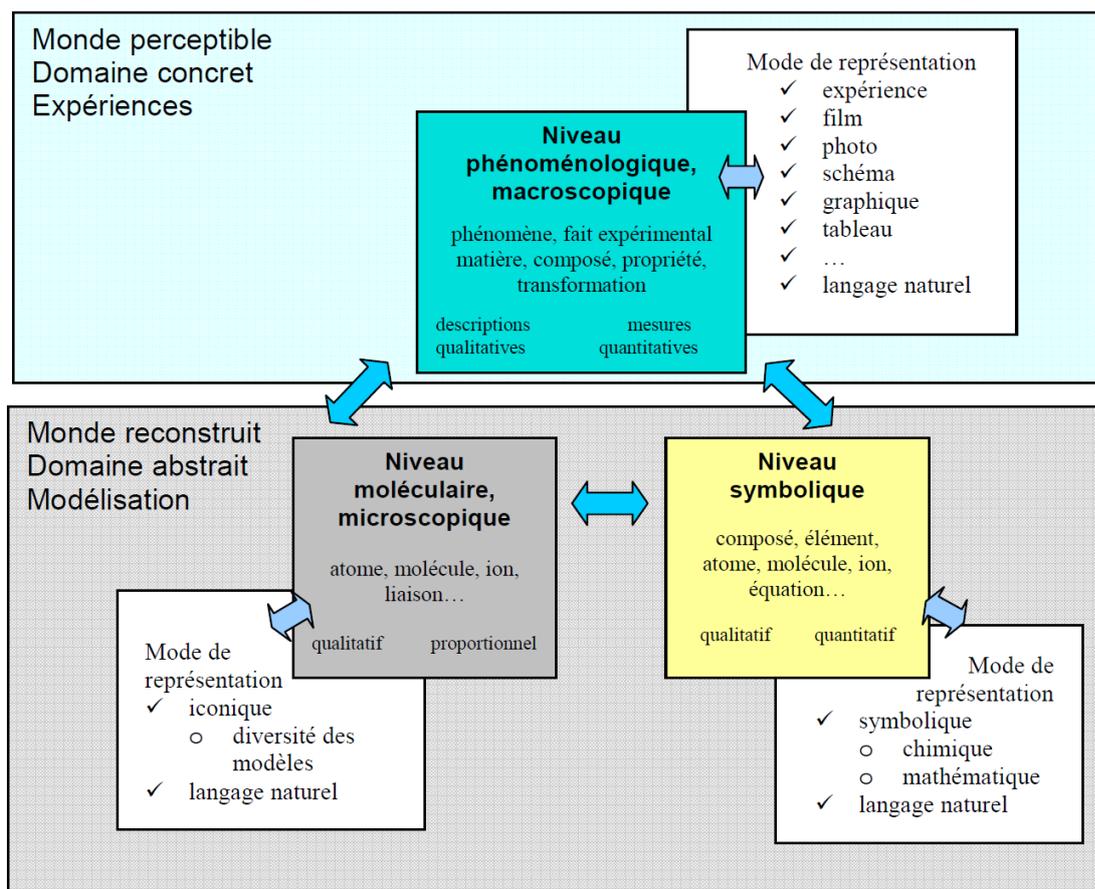
En 2009, Houart propose une version du « chemistry triplet » en se basant sur les travaux de Johnstone. Elle divise le domaine abstrait de la modélisation en deux : le niveau moléculaire et le niveau symbolique. Elle justifie cette division par les difficultés rencontrées par les enseignants ainsi que celles des étudiants liées à la modélisation. Afin de rendre opérationnelle sa division dans le but ultime d'aider les étudiants à distinguer avec aisance chaque niveau de savoir, elle s'appuie sur les travaux de ses prédécesseurs tels que Martinand (1996) qui distingue uniquement le monde empirique du monde des modèles, mais aussi de Barlet et Plouin (1997), qui ne parlent que de la dualité macroscopique microscopique. Cette division du monde abstrait lui a sans doute permis d'améliorer les travaux antérieurs. Cependant, elle précise l'importance de ces trois niveaux de savoir (macroscopique, microscopique, symbolique) qui permet non seulement de décrire et d'expliquer les phénomènes chimiques, mais aussi de faciliter la communication entre les chimistes. Nous décrivons par la suite le modèle de Houart (2009) (figure 9). Pour y parvenir, elle conserve les niveaux macroscopique et symbolique, modifie le sub-microscopique en microscopique. Elle associe au niveau macroscopique le monde perceptible, le domaine concret et les expériences. Quant aux niveaux microscopique et symbolique, ils constituent le monde construit, le domaine abstrait et la modélisation. Elle associe à chaque niveau des caractéristiques qui lui sont propres.

- Le niveau macroscopique recouvre : les phénomènes, faits expérimentaux, matières, composés, propriétés, descriptions qualitatives, mesures quantitatives. Les modes de communication de ce niveau sont : les expériences, les films, les photos, les schémas, les graphiques, les tableaux, le langage naturel etc...

- Le niveau microscopique recouvre : les atomes, les molécules, les ions, les liaisons chimiques, ainsi que les modes de représentation qui sont de nature iconique (modèle divers de l'atome) et sous forme de langage naturel.

- Le niveau symbolique renferme : les formules des molécules, des atomes, des composés, des ions, des éléments, ... et les équations chimiques (coefficients stœchiométriques, indices...) ; le mode de représentation associé est non seulement le langage naturel, mais aussi le langage symbolique qui comporte les symboles chimiques et mathématiques.

Ces niveaux sont indiqués sur la figure 9.



**Figure 9 : « Chemistry triplet » de Houart (2009)**

L'originalité du modèle de Houart (2009) réside dans le fait que chaque niveau possède des éléments suffisamment décrits permettant de les caractériser et facilitant ainsi sa compréhension. Cependant, nous relevons tout de même comme Houart (2009) deux limites de son modèle : premièrement, son modèle ne prend pas en compte la théorie, les niveaux de savoir regroupant seulement le macroscopique, le microscopique et le symbolique, il est difficile voire impossible de se déplacer d'un niveau à l'autre sans théorie ; deuxièmement, il est difficile de distinguer le niveau de savoir du mode de représentation ; c'est le cas du niveau symbolique par exemple qui utilise les symboles pour représenter les atomes ce qui crée un flou entre le mode de représentation symbolique et niveau symbolique. Le « chemistry triplet » de Johnstone évoluera de la manière suivante : les niveaux de pensée, de savoir appelés ainsi par Johnstone seront désignés par la suite par Gilbert et Treagust en termes de type de « représentation ».

#### **5-4 Gilbert et Treagust 2009 : le « triplet Relationship »**

Gilbert et Treagust dans un livre publié en 2009, proposent une nouvelle interprétation du « chemistry triplet » de Johnstone. Dans cette interprétation, les niveaux de savoir deviennent des types de représentation. Gilbert et Treagust (2009) associent un nom et un contenu à chaque type de représentation. Ces représentations sont énumérées ci-dessous :

- Le premier type de représentation, connu sous le nom de « macro » a comme contenu, les représentations des propriétés empiriques des solides, des liquides, des colloïdes et des gaz ; il s'agit en réalité des propriétés perceptibles dans un laboratoire et qui peuvent être mesurées (densité, pH, masse, température).
- Le deuxième type de représentation, connu sous le nom de « sub-micro », tente d'expliquer qualitativement les phénomènes visés, en se servant des modèles pour décrire les entités très petites et qui ne peuvent pas être vues au microscope optique : ce sont par exemple les propriétés chimiques, les atomes, les molécules et les ions.
- Le troisième type de représentation, connu sous le nom de « symbolique », tente d'expliquer quantitativement les phénomènes visés. Ce niveau fait appel aux signes pour représenter les charges électriques des ions, aux symboles pour représenter les atomes, aux indices pour représenter le nombre d'atomes contenus dans une molécule.

Nous trouvons le modèle de Gilbert et Treagust (2009), très proche du modèle de Houart (2009). En effet, ils se servent des modèles pour visualiser les entités de petite taille (monde abstrait) ; bien que les éléments de caractérisation de chaque niveau de savoir soient davantage étayés, on note tout de même comme chez Houart (2009) la non implication de la théorie. Par ailleurs, le terme « représentation » pose problème dans la mesure où cela crée la confusion avec le niveau représentationnel de Johnstone.

Outre Gilbert et Treagust (2009), Kermen et Méheut (2009) ont proposé des améliorations présentées dans la suite.

#### **5-5 Le tétraèdre proposé par Kermen et Méheut (2009)**

Selon Kermen et Méheut (2009), le niveau macroscopique ne pouvait pas être considéré uniquement comme empirique car, plusieurs phénomènes peuvent à la fois être considérés

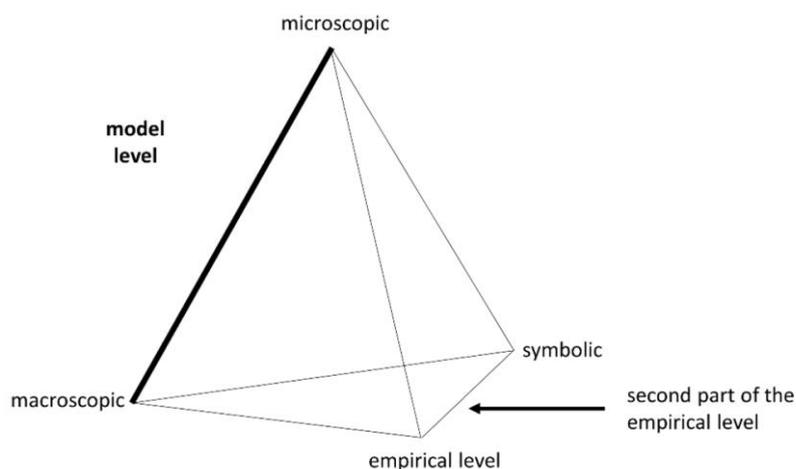
comme des constructions conceptuelles et comme des phénomènes empiriques. Kermen et Méheut (2009) divisent donc le niveau macroscopique du triangle de Johnstone en niveau de modélisation macroscopique et niveau empirique (figure 10) ; il est question pour ces auteurs de distinguer le monde empirique du monde des modèles. Cependant, Kermen et Méheut (2009) sont conscientes d'un problème qui entoure le niveau empirique c'est-à-dire de le distinguer du monde des modèles. Elles l'illustrent à travers deux descriptions du niveau empirique en prenant pour exemple le phénomène d'oxydation du zinc (II) dans une solution de sulfate de cuivre (II).

- Dans la première description du niveau empirique, les termes utilisés ne renvoient pas directement à la chimie : « Un fil gris est placé dans un liquide bleu, après un certain temps, le fil est recouvert d'un solide de couleur rose et le liquide est presque incolore. » ; comme le précisent les auteurs, ici, on décrit exactement ce qu'on voit.

- Dans une seconde description du niveau empirique, les termes utilisés renvoient directement à la chimie telle que les ions, les solutions aqueuses ; comme exemple de phrase qui l'illustre, nous avons : « Un fil de zinc est introduit dans une solution aqueuse de sulfate de cuivre, après un certain temps, le cuivre apparaît et les ions cuivre disparaissent. »

En comparant ces deux descriptions, on se rend compte que les termes utilisés ne sont pas les mêmes. Dans la première description, comme nous l'avons précisé précédemment, les termes utilisés ne renvoient pas directement à la chimie par exemple : solide, liquide, couleur sont des termes utilisés dans la vie quotidienne. Cependant, dans la deuxième description du niveau empirique, nous voyons l'utilisation des termes tels que : zinc, sulfate de cuivre, cuivre, ion cuivrique qui nécessitent des connaissances en chimie pour associer une couleur à un ion. Kermen et Méheut précisent également que la deuxième description est une forme dans laquelle on décrit les espèces chimiques et on les caractérise par leurs noms et formules. Ces termes (zinc, sulfate de cuivre, cuivre, ion cuivrique) prennent la forme d'une modélisation pour Dehon (2018) qui y voit une première interprétation du phénomène chimique observé. Kermen et Méheut ne nient pas le fait que cette deuxième description du niveau empirique relève déjà de l'interprétation et par conséquent, elle appartient au monde des modèles. Elles précisent en citant Martinand (2002) que les gens qui utilisent la deuxième description n'ont pas conscience qu'elle résulte d'une abstraction préalable du monde réel et que ces mêmes personnes ont tendance à utiliser cette description comme si c'était la réalité. Cependant, l'usage des termes

tels que solution de sulfate de cuivre et l'observation des changements observés peuvent nous conduire vers une interprétation du phénomène au niveau macroscopique et microscopique grâce aux modèles. Ce qui cause un flou car l'un des buts du tétraèdre était de distinguer le monde empirique du monde des modèles : ce qui n'a pas réellement été fait. Cette limite du tétraèdre nous amène à explorer le modèle de Talanquer.



**Figure 10 : Tétraèdre des niveaux de savoir de Kermen et Méheut (2009)**

### **5-6 Talanquer et le « chemistry knowledge space » (2011)**

En 2011, Talanquer, conscient des problèmes entourant le triangle de Johnstone, propose un nouveau modèle d'interprétation des savoirs, créant ainsi un espace multidimensionnel que nous décrirons par la suite. Trois types de savoir sont proposés il s'agit :

- Des expériences qui sont reliées à des connaissances empiriques des phénomènes chimiques, et qui regroupent les descriptions des substances chimiques ;

- Des modèles qui comportent des modèles théoriques, ayant pour rôle de décrire, d'expliquer et de prédire. Selon Dehon (2018), les niveaux macroscopique et microscopique sont regroupés en un seul type par Talanquer qui évoque en même temps un facteur d'échelle permettant de rendre compte des facteurs macroscopiques et microscopiques des phénomènes évoqués.

- Des visualisations, qui comportent des signes, des icônes, des symboles, permettant de communiquer de manières qualitatives et quantitatives entre les expériences et les modèles.

Dehon (2018) note une originalité dans le modèle de Talanquer dans la mesure où il propose des éléments susceptibles d'éclairer les différents niveaux de savoir. Dehon (2018) les illustre à travers trois exemples :

- La matière est divisée en six catégories grâce au facteur d'échelle « macroscopique, microscopique, multi particulaire, supramoléculaire, moléculaire, subatomique ». Dehon (2018) pense que cette division dépasse non seulement la dichotomie macroscopique / microscopique, mais permet également de faire une analyse plus approfondie et fine des entités chimiques.
- Le facteur dimensionnel qui illustre clairement les différentes formes de transformation chimique ; c'est le cas pour un enseignant qui peut s'appuyer sur les modifications de composition et de la structure chimique des entités chimiques durant son cours afin d'aider les élèves à mieux apprendre.
- Le facteur d'approche de l'enseignant (manipulation expérimentale, concept chimique) ; selon le type d'approche utilisée, (mathématique, historique, contextuel, conceptuel) l'enseignant utilise différents modèles de visualisation.

La figure 11 indique clairement ces niveaux de savoir décrits par Talanquer.

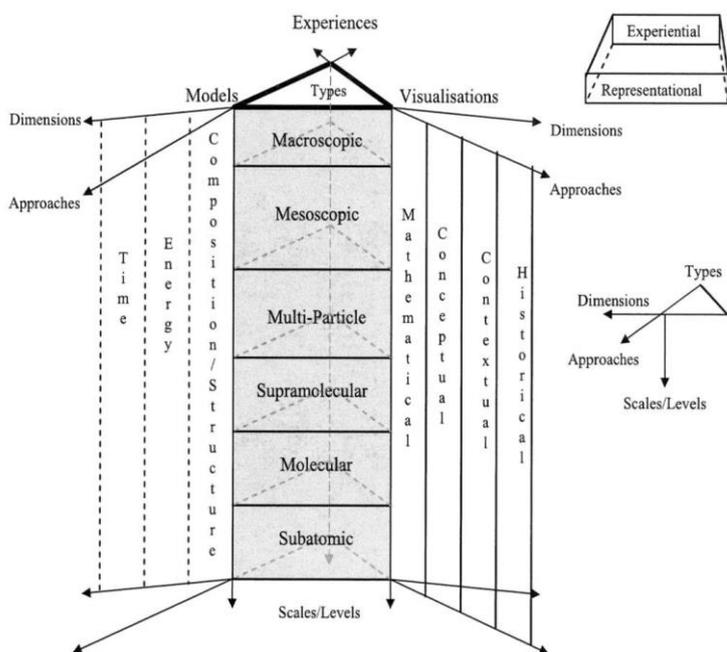


Figure 11 : « Chemistry triplet » version de Talanquer (2011)

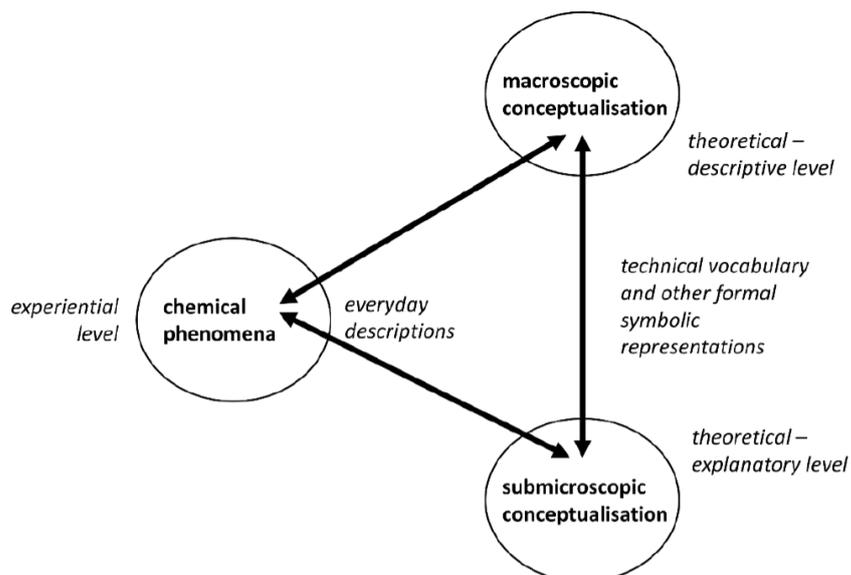
Bien que le système expérience-modèle-visualisation soit important pour la recherche, Dehon précise la complexité du modèle de Talanquer qui réduit son usage d'où l'exploration du modèle de Taber (2013).

### **5-7 Le modèle du « chemistry triplet » de Taber (2013)**

En 2013, suite aux différentes critiques du « chemistry triplet » proposées par des auteurs, Taber confirme la séparation du monde empirique du monde des modèles de même que les auteurs tels que Johnstone, Talanquer, Kermen et Méheut. S'appuyant sur les travaux de Johnstone, Taber redéfinit le statut des représentations symboliques. Nous décrivons le modèle de Taber du « chemistry triplet ».

Présenté sous forme de triangle (Figure 12), et très proche du modèle de Johnstone, on a au sommet le niveau macroscopique associé à la description des phénomènes, juste en dessous se trouve le niveau sub-microscopique associé à l'explicatif. A gauche du triangle se trouve le niveau empirique connu sous le nom de phénomène chimique où on retrouve toute description des phénomènes chimiques. Contrairement aux autres auteurs, Taber ne considère pas le niveau symbolique comme un niveau à part entière mais comme moyen de communication et de circulation entre les niveaux macroscopique et microscopique. Il l'illustre en disant qu'un enseignant peut travailler au niveau microscopique et utiliser les symboles pour l'illustrer.

Taber établit des liens particuliers entre les symboles et les niveaux de conceptualisation en s'appuyant d'une part sur des exemples tels que les appareillages du laboratoire, la verrerie du laboratoire utilisée durant les expérimentations qui rentrent dans la conceptualisation macroscopique. D'autre part, il associe les représentations des structures moléculaires aux conceptualisations sub-microscopiques. Cependant, Dehon précise le fait que Taber relève le caractère ambigu de la représentation des formules, des équations chimiques ainsi que la nomenclature car ces éléments peuvent selon le contexte renvoyer au macroscopique ou au microscopique. Taber considère enfin cette ambiguïté comme un pont permettant aux étudiants de circuler sans difficultés entre le macroscopique et le microscopique.



**Figure 12 : niveaux de conceptualisation en chimie de Taber (2013)**

Par ailleurs, le cadre théorique de Taber (2013) présente quelques limites, puisqu'il ne relie pas le niveau empirique aux outils de représentation ou de visualisation. Pourtant, des chercheurs comme Strauss (1986) ont montré que les visualisations des formules chimiques peuvent véhiculer des significations qui diffèrent largement du concept étudié. Par exemple, Canac (2020), reprenant les travaux de Dehon et Snauwaert (2015), précise qu'un élève a au minimum quatre interprétations possible pour le « Si » : une conjonction signifiant un conditionnel, l'atome de silicium (niveau microscopique), les deux lettres « S » et « i » (niveau symbolique/visualisation) et le silicium solide (niveau macroscopique). La prise en compte de ces différentes significations s'avère par conséquent utile dans la gestion des obstacles liés à l'apprentissage, d'où la nécessité de considérer le niveau symbolique /visualisation comme niveau à part entière.

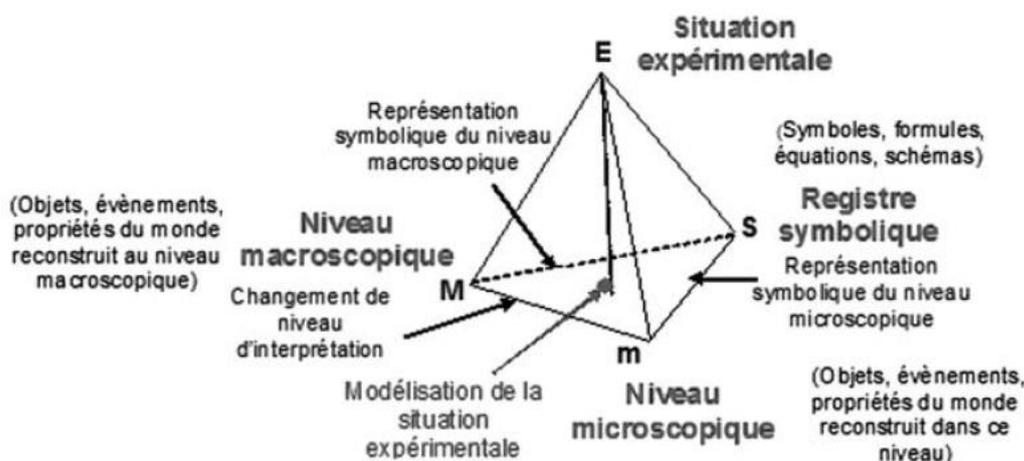
Dans la suite, on présentera la théorie des niveaux de savoir selon Dumon et Mzoughi Khadhraoui (2014). Ils s'appuient principalement sur les travaux de Kermen et Méheut (2009).

### **5-8 Le « chemistry triplet » de Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2014)**

En 2014, Dumon et Mzoughi-Khadhraoui de même que les auteurs précédents (Kermen et Méheut (2009), Talanquer (2011) et Taber (2013)) confirment la séparation du niveau

macroscopique en deux sommets : il s'agit principalement d'un niveau empirique qui comporte le dispositif expérimental qui conduit aux observations des phénomènes chimiques, et d'un modèle macroscopique qui l'interprète (substance, réactifs, produit, masse molaire...). Dumon et Mzoughi-Khadhraoui ne partagent pas le point de vue de Taber (2013) concernant le niveau symbolique qui, pour ce dernier, ne doit pas être considéré comme un niveau à part entière. Johnstone (1991) mentionne pourtant que le niveau symbolique serait un supplément de connaissances pour un étudiant débutant. Cependant, Dumon et Mzoughi-Khadhraoui partagent le point de vue de Talanquer (2011), qui considère le niveau symbolique comme un niveau de visualisation renfermant les signes visuels utilisés pour faciliter la communication qualitative et quantitative des phénomènes expérimentaux et les modèles en chimie. Ce niveau symbolique encore appelé visualisation, est repris par Dumon et Mzoughi-Khadhraoui et constitue un niveau de savoir à part entière. Dumon et Mzoughi-Khadhraoui reprennent donc le tétraèdre de Kermen et Méheut (2009), ils nomment ce tétraèdre « triplet élargi ». Ce triplet élargi montre les différentes interactions entre les différents niveaux de description et d'interprétation des phénomènes chimiques (Figure 13). Dans ce triplet élargi, Dumon et Mzoughi-Khadhraoui remplacent le niveau symbolique présent dans le tétraèdre de Kermen et Méheut par un niveau appelé « niveau de visualisation ». Ce tétraèdre se présente de la manière suivante :

- Le premier sommet, nommé situation expérimentale.
- Le second sommet, nommé niveau macroscopique, comporte les objets et les événements de même que les propriétés de la matière.
- Le troisième sommet nommé niveau microscopique, comporte les objets, les événements ainsi que les propriétés du monde reconstruit.
- Le quatrième sommet, nommé registre symbolique, comporte les symboles, les formules, les équations, les graphiques les diagrammes... Chaque arête reliant deux niveaux possède des caractéristiques qui sont clairement indiquées dans la figure 13.



Schématisation de la mise en relation du champ empirique avec le monde des théories et modèles en chimie.

**Figure 13 : Tétraèdre de Kermen et Méheut (2009) révisé par Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2014)**

Le principe de fonctionnement de ce tétraèdre révisé par Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2014) s'appuie sur la combustion du butane. Dans une première description du niveau empirique par un novice, seuls les termes suivants sont utilisés « *le gaz butane (connu des élèves) brûle dans l'air, on observe une flamme et de la chaleur* ». Ce langage évoluera au cours des apprentissages grâce à la modélisation macroscopique. Il est question pour l'élève de décrire les phénomènes chimiques en se basant sur l'expérimentation du point de vue macroscopique (arête EM du tétraèdre). Dans la prochaine étape on visualise les changements par un schéma de réaction ou encore une équation de mot chimique (côté SM du tétraèdre). Dans la troisième étape, on associe les mots chimiques à leurs symboles puis on réécrit l'équation bilan de la réaction en tenant compte des proportions (sommet S du tétraèdre). Il est également possible de représenter l'expérience par un schéma (côté ES du tétraèdre). La compréhension de l'équation bilan de la réaction nécessite un passage au niveau microscopique. Le côté (Sm du tétraèdre) rappelle la nature des atomes de même que le principe de conservation des atomes autrement dit la représentation du microscopique. La modélisation microscopique permet de visualiser la composition des atomes au sein de la molécule. L'arête Mm du tétraèdre traduit les changements au niveau des interprétations macroscopique microscopique. Enfin l'interprétation quantitative fait appel à l'ensemble des éléments du tétraèdre (EMSm). Dehon (2018) ne nie pas les apports de Dumon et Mzoughi-Khadhraoui mais les trouve très proches du modèle de Kermen et Méheut de (2009). Contrairement à Taber, Dumon et Mzoughi-

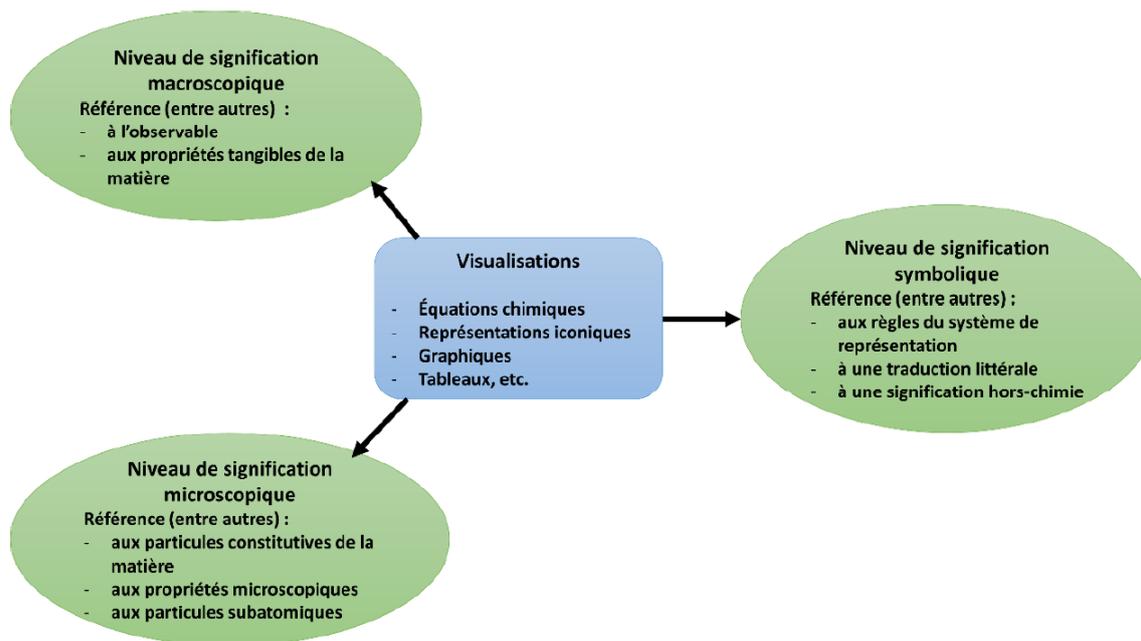
Khadhraoui (2014) considèrent le niveau symbolique comme un niveau de savoir à part entière principalement pour un jeune apprenant. Dehon (2018) propose une version reconstruite qui s'appuie sur les travaux de ses prédécesseurs tels que Taber (2013), qui ne considère pas le niveau de savoir chimique qui serait de nature symbolique. Dehon met en place un niveau de signification que les élèves prêtent aux différents éléments présents dans une équation bilan de la réaction chimique. Notons que ces niveaux « de savoir » trouvent selon les auteurs différentes appellations comme, par exemple, niveaux « de représentation », « de savoir » ... Nous garderons, comme Dehon (2018) avant nous, le terme de niveau de savoir de façon générale.

### **5-9 Les niveaux de signification de Dehon (2018)**

Dehon propose trois niveaux de signification auxquels il associe des caractéristiques propres (Figure 14):

- Le niveau de signification macroscopique se réfère à l'observable et aux propriétés tangibles de la matière. Il s'agit principalement des observations empiriques telles que les changements de couleurs, leurs disparitions au cours des réactions chimiques. Ce niveau de signification intègre également les concepts de métaux, substances dont l'élève peut décrire les propriétés telles que l'état de la matière, la malléabilité, la conductibilité etc...
- Le niveau de signification microscopique se réfère aux particules constitutives de la matière (molécules, atomes, ions), aux propriétés microscopiques ou aux particules sub-atomiques (électron, proton, neutron).
- Le niveau de signification symbolique dans lequel l'élève ne perçoit pas les informations véhiculées par les symboles se réfère aux règles du système de représentation, à une traduction littérale et à une signification hors chimique (mathématique). Cependant, Dehon reconnaît que les élèves ne pourront pas relier les symboles aux concepts qu'ils représentent en chimie mais ils pourront par ailleurs élaborer d'autres significations.

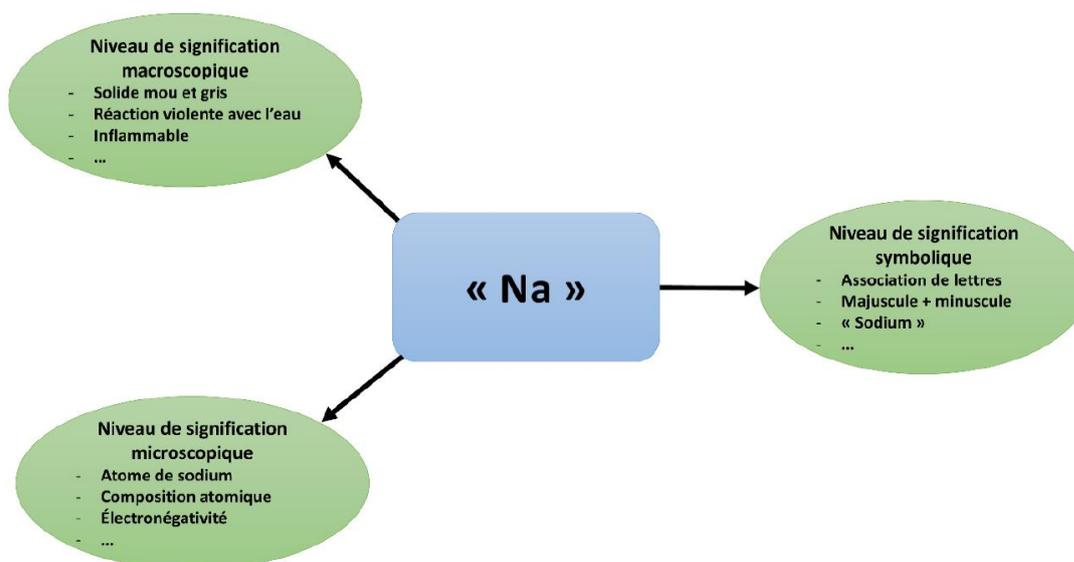
Dehon associe à ces niveaux de signification une visualisation telle que les équations chimiques, les représentations iconiques, les graphiques les tableaux afin de circuler aisément entre les niveaux de signification.



**Figure 14 : les niveaux de signification associés à une visualisation pour un jeune apprenant (Dehon, 2018)**

Dehon illustre les niveaux de signification à l'aide de l'exemple de l'atome de sodium (Figure 15) :

- Au niveau macroscopique, « Na » traduit la substance solide, grise et molle que l'on observe, son éclat, sa réaction avec l'eau, ses propriétés inflammables.
- Au niveau microscopique, « Na » est vu comme l'atome de sodium, sa composition en particule subatomique, son électronégativité.
- Au niveau symbolique, « Na » est perçu comme une lettre majuscule associé à une lettre minuscule, qui traduit un langage de la chimie sans toutefois être connecté au niveau macroscopique et microscopique.



**Figure 15 : niveau de signification et exemple associé à l'atome de sodium (Dehon, 2018)**

Dans ce modèle des niveaux de signification proposé par Dehon (2018) (Figure 15), il est important de préciser une incompréhension qui semble régner autour du niveau symbolique. Dehon précise dans sa thèse le fait de ne pas considérer le niveau symbolique comme niveau de savoir à part entière de même que Taber (2013). Pourtant, dans son modèle des niveaux de savoir, on y retrouve le niveau symbolique comme niveau à part entière. Dehon (2018, p. 110) se justifie : « *Nous l' avons appelé « symbolique » car nous y voyons un clin d' œil au modèle original de Johnstone, mais également pour montrer que nous complétons le modèle de Taber en considérant l' existence, pour certaines représentations, de significations non liées aux concepts chimiques macroscopiques et microscopiques.* ». De plus, le modèle présenté par Dehon (2018) ne prend pas en compte la modélisation. Pourtant la modélisation est un processus clé permettant de passer d'un niveau de savoir à un autre. Ainsi, face à cette controverse liée au niveau symbolique, nous adoptons comme cadre théorique le modèle de niveau de savoir proposé par Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2014) non seulement parce qu'il comporte les éléments fondamentaux du triangle de Johnstone, mais aussi à cause du fait que ce cadre prend en compte d'une certaine manière les évolutions et les modifications effectuées grâce aux différentes critiques du triangle de Johnstone depuis sa mise au point.

Le tableau 2 récapitule l'ensemble des niveaux de savoir de 1982 à 2018

**Tableau 2 : Tableau récapitulatif de l'évolution des niveaux de savoir de 1982 à 2018**

Années	Auteurs	Apport dans la théorie des niveaux de savoir.
Johnstone	1982	Propose des niveaux de pensée : niveaux de description, de représentation et d'explication.
Johnstone	1991	Dans cette version, le niveau macroscopique est associé au descriptif, le niveau sub-microscopique à l'explicatif ; et le niveau symbolique au représentationnel. Ces niveaux ont été représentés au sommet d'un triangle.
Houart	2009	Conserve les niveaux macroscopique et symbolique, modifie le sub-microscopique en microscopique ; associe au niveau macroscopique le monde perceptible, le domaine concret et expérience. Quant aux niveaux microscopique et symbolique, ils constitueront le monde construit, le domaine abstrait et de modélisation. Il associe enfin, à chaque niveau des caractéristiques qui lui sont propres.
Gilbert et Treagust	2009	Proposent une nouvelle interprétation du « chemistry triplet » de Johnstone. Les niveaux de savoir deviennent des types de représentation. Gilbert et Treagust (2009) associent un nom et un contenu à chaque type de représentation (macroscopique : perceptible, sub-microscopique : explication qualitative, symbolique : explication quantitative).
Kermen et Méheut	2009	Divisent le niveau macroscopique en niveau de modélisation macroscopique et niveau

		empirique ; il est question pour ces auteurs de distinguer le monde empirique du monde des modèles.
Talanquer	2011	Propose un espace multidimensionnel dans lequel on retrouve trois types de savoir : - des expériences qui sont reliées à des connaissances empiriques des phénomènes chimiques, - des modèles qui comportent des modèles théoriques, ayant pour rôle de décrire, d'expliquer et de prédire - des visualisations, qui comportent des signes, des icônes, des symboles, permettant de communiquer de manière qualitative et quantitative entre les expériences et les modèles
Taber	2013	Confirme la séparation du monde empirique du monde des modèles puis redéfinit le statut des représentations symboliques.
Dumon et Mzoughi-Khadhraoui	2014	Reprend les travaux de ses prédécesseurs principalement de Kermen et Méheut (2009), renomme le niveau symbolique en termes de visualisation et associe à chaque arête du tétraèdre de même qu'à chaque sommet des caractéristiques qui leur sont propres.
Dehon	2018	Reprend les travaux de ses prédécesseurs, restaure le niveau symbolique, renomme les niveaux de savoir en termes de niveau de signification (macroscopique, microscopique et symbolique). Il y associe à chaque niveau des éléments de visualisation.

## **5-10 Conclusion : bilan et impact pour la recherche**

Ce chapitre nous a permis de retracer l'évolution de la théorie des niveaux de savoir afin de justifier le choix du cadre théorique utilisé dans cette recherche. Il existe une pléthore de théories des niveaux de savoir. Chaque théorie possède une originalité qui est améliorée par d'autres auteurs. Cependant, les travaux de Johnstone continuent à faire leurs preuves dans la recherche jusqu'à nos jours, car ils demeurent au centre des préoccupations des chercheurs. Pour cette étude, le modèle de Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2014) est utilisé. Contrairement au modèle plus récent proposé par Dehon en 2018, le modèle de Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2014) s'en démarque par la modélisation. En effet, conformément au programme en vigueur qui recommande une approche expérimentale, le modèle de niveau de savoir proposé par Dumon débute par une situation expérimentale facilitant non seulement une circulation entre différents niveaux, mais aussi en intégrant la modélisation. Malgré le fait que le modèle proposé par Dehon (2018) soit le plus récent, d'une part, l'étape de la modélisation n'est pas présente dans son modèle, et d'autre part il s'intéresse à l'existence d'un niveau de signification associé à une visualisation. Il place premièrement la réaction chimique au centre d'une visualisation. Deuxièmement, il s'intéresse aux différentes significations des élèves sur la réaction chimique au niveau macroscopique, microscopique et symbolique. Nous ne nous intéressons pas à la signification des élèves sur la réaction chimique, mais aux niveaux de savoir employés suite à la mise en place d'un travail pratique : d'où le retour au modèle de Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2014).

La théorie des situations didactiques est utilisée pour mettre en place le dispositif d'expérimentation, la théorie des niveaux de savoir servira de cadre d'analyse à nos résultats. La deuxième partie porte sur la méthodologie de la recherche.

## **TROISIÈME PARTIE : CADRE MÉTHODOLOGIQUE**

Cette partie comporte trois chapitres :

- un premier chapitre qui concerne la méthodologie de la recherche : l'ingénierie didactique, on explore la démarche de mise en place d'une ingénierie didactique.
- le deuxième chapitre concerne la méthodologie de collecte des données.
- la partie se clôture par le troisième chapitre intitulé « Méthodologie de traitement des données ».

## CHAPITRE 6 : MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE : L'INGÉNIERIE DIDACTIQUE

L'ingénierie didactique en tant que méthodologie de recherche est apparue dans les années 80 en didactique des mathématiques. D'après Artigue (1988), il s'agit d'un travail didactique comparable à celui d'un ingénieur qui s'appuie sur des connaissances scientifiques, qui accepte de se soumettre à un contrôle scientifique du domaine afin de mettre en place un projet. Ce chapitre présente donc l'ingénierie didactique comme une méthodologie de la recherche. Pour y parvenir, un bref rappel historique du contexte de naissance de l'ingénierie didactique s'avère important à sa compréhension. Par la suite, on présentera les étapes qui décrivent cette méthodologie. Le chapitre se clôture par une implication de l'ingénierie dans la présente recherche.

### 6-1 Les origines de l'ingénierie didactique

D'après Chevallard (1982), comme précisé en introduction du présent chapitre, le terme « *ingénierie didactique* » apparaît dans la didactique des mathématiques dans les années 80 dans le but de répondre à deux questions fondamentales. Premièrement la place de la complexité de la classe dans la méthodologie de la recherche, deuxièmement, le rapport entre la recherche et l'action sur le système d'enseignement. Il est donc question, selon Artigue (1988) « *d'une part, de se dégager du rapport entre recherche et action pensées soit en termes d'innovation soit par l'intermédiaire de la recherche /action pour affirmer la possibilité d'une action rationnelle sur le système basé sur des connaissances didactiques préétablies. Et d'autre part, de marquer l'importance de la réalisation didactique en classe comme pratique de recherche à la fois pour des raisons liées à l'état de jeunesse de la recherche didactique, pour répondre à des besoins permanents de mises à l'épreuve des constructions théoriques élaborées* ». A ce moment-là, dans la plupart des pays comme en France par exemple, la didactique des mathématiques est à la recherche d'une légitimité scientifique : elle privilégie à cet effet les méthodes de laboratoire (comparaison entre groupes expérimentaux et témoins). Dès le début de ses recherches vers les années 80, la didactique des mathématiques, s'est fondée sur la nécessité de développer des cadres théoriques qui lui sont propres. C'est le cas par exemple de la théorie des situations didactiques de Brousseau qui existait déjà. Cette situation était

complexe, car il était difficile de concevoir, qu'une didactique se limiterait à une didactique de laboratoire, qui renoncerait à la compréhension, à l'exploration de son principe de fonctionnement pour se satisfaire de la comparaison des tests statistiques afin d'être en accord avec les principes fondateurs de la théorie. La mise en place d'une méthodologie en lien avec la théorie des situations didactiques s'avère donc incontournable à cette époque. La naissance de l'ingénierie didactique a été donc conditionnée par la théorie des situations didactiques. De plus, c'est grâce à la double fonction relevée par Artigue (1988) et d'ailleurs précisée en début de partie que l'ingénierie didactique trouvera son chemin dans l'édifice didactique. Pour parvenir à la mise en place de l'ingénierie didactique, un choix des productions réalisées pour l'enseignement grâce aux recherches ayant fait appel, d'une part à une méthodologie de recherche spécifique, et d'autre part à des méthodologies externes à la classe s'avère nécessaire d'après Artigue (1988). Il est donc intéressant d'explorer non seulement les types ainsi que les éléments caractéristiques de l'ingénierie didactique, mais aussi les phases de la méthodologie d'ingénierie. Avant d'explorer les types d'ingénierie, rappelons que l'ingénierie didactique est utilisée dans de nombreuses recherches tels qu'en didactique de la chimie (Molvinger-Verger (2011), Dehon (2018)).

## **6-2 Les principaux types d'ingénierie didactique**

D'après Chevallard (2009), il existe trois types d'ingénierie :

- l'ingénierie didactique professionnel, qui est nécessaire non seulement à la production des ressources éducatives intégrant ou non les nouvelles technologies, mais aussi à la formation et au développement des compétences professionnelles ;
- l'ingénierie didactique de développement, qui est mis en place par les praticiens au cours de l'élaboration des situations d'apprentissage. Elle prend en compte la planification des activités à mener en classe ainsi que le respect des normes institutionnelles ;
- l'ingénierie de recherche, généralement utilisée pour les recherches en didactique, permet l'apprentissage des élèves ainsi que de produire et d'étudier les phénomènes didactiques bien déterminés. Cependant, parmi celles mises en place, certaines ne poursuivent pas les finalités d'apprentissage (Dehon, 2018). Elles se limitent à « créer un contexte d'observation propice à l'étude et à l'observation du fonctionnement didactique, sans intervenir dans la conception et la validation de contenus d'enseignement ni proposer de solutions à un problème déterminé. ».

Ces dernières remarques sont en prendre en compte dans cette dernière méthodologie qui est d'ailleurs retenue dans le cadre de cette recherche.

Il est important également de différencier les types d'ingénierie. L'ingénierie de formation comme son nom l'indique, est beaucoup plus utilisée dans des centres de formation professionnelle, et ayant pour finalité le développement des compétences. L'ingénierie de développement vise le développement d'un produit. Elle est beaucoup plus utilisée par les enseignants pour le développement d'un produit d'apprentissage. L'ingénierie didactique est surtout mise en place par le chercheur pour un apport d'information scientifique.

### **6-3 L'ingénierie didactique, une méthodologie de recherche, quels sont ses éléments caractéristiques ?**

D'après Artigue (1988), en tant que méthodologie de recherche, l'ingénierie didactique se fonde sur un schéma expérimental basé sur des réalisations didactiques en classe (conception, réalisation, observation et analyse des séquences d'enseignements). Artigue (1988) distingue donc deux types d'ingénierie en fonction du type de réalisation didactique impliquée dans la recherche : la micro et la macro ingénierie. Les recherches de micro ingénierie (dites aussi locales (organisation d'une séance ou d'une phase)), qui sont généralement faciles à mettre en place, bien qu'elles permettent de prendre en compte la complexité de la fonction locale du phénomène classe, elle n'offre pas la possibilité de composer cette complexité avec celle des phénomènes liés à la durée dans le rapport enseignement /apprentissage. De plus, elles ne permettent pas un découpage cohérent d'objet et de connaissance (Artigue, 1988).

Les recherches de macro ingénierie (dites aussi globales (organisation de l'ingénierie)) bien qu'elles présentent de nombreuses difficultés de mise en place, semblent incontournables d'après Artigue (1988).

Par rapport aux autres types de recherche, l'ingénierie didactique se caractérise par le mode de validation qui lui est associé. Par ailleurs, contrairement aux autres types de recherche ayant recours à l'expérimentation, et utilisant l'approche comparative entre les groupes expérimentaux et témoins pour une validation externe, l'ingénierie didactique se situe à l'opposé : une validation interne basée sur une confrontation entre les analyses a priori et a posteriori. Nous en reparlerons de manière plus explicite dans la partie réservée à la validation. Les phases de l'ingénierie didactiques sont étudiées par la suite.

## **6-4 Les différentes phases de la méthodologie d'ingénierie**

Quatre phases caractérisent la méthodologie d'ingénierie didactique :

- la phase 1 : analyses préalables ;
- la phase 2 : la conception et l'analyse a priori des situations didactiques et de l'ingénierie ;
- la phase 3 : l'expérimentation ;
- la phase 4 : l'analyse a posteriori et de l'évaluation.

### **6-4-1 les analyses préalables (phase 1)**

Cette phase s'appuie sur un certain nombre d'analyses préliminaires. Il s'agit de :

- « - l'analyse des contenus épistémologiques visés par l'enseignement,
- l'analyse de l'enseignement usuel et de ses effets,
- l'analyse des conceptions des élèves, des difficultés et obstacles qui marquent leurs évolutions,
- l'analyse du champ de contrainte dans lequel va se situer la réalisation didactique effective, en tenant compte des objectifs spécifiques de la recherche. » (Artigue, 1988, p.289). Cependant, elle précise que ces différentes analyses ne sont pas très explicites dans de nombreux travaux. A cet effet, on centrera l'analyse préalable sur un certain nombre de dimension :

- la dimension épistémologique liée au savoir mis en jeu ;
- la dimension didactique liée aux caractéristiques du public auquel s'adresse l'enseignement ;
- la dimension cognitive liée aux caractéristiques cognitives du public auquel s'adresse l'enseignement.

En ce qui concerne ces différentes analyses épistémologiques des contenus et des enseignements usuels, pour le cas de la présente étude, elles se baseront sur les différentes difficultés d'ordre épistémologiques d'une part et d'ordre didactique d'autre part. Ces difficultés sont celles rencontrées par l'apprenant au cours de l'apprentissage des savoirs en chimie. La dimension curriculaire sera également prise en compte. Ces différentes difficultés ont été relevées dans la revue de la littérature par exemple : dans notre étude, on veut regarder

si les élèves distinguent les niveaux de savoir. Pour cela on s'intéresse aux atomes, aux molécules qui appartiennent au niveau microscopique, aux corps purs qui appartiennent au niveau macroscopique, aux formules chimiques pour le niveau symbolique /visualisation. On s'intéressera enfin aux outils du laboratoire pour le niveau empirique. En ce qui concerne les conceptions des élèves, en tant que concept fondamental de l'ingénierie didactique, pour cette recherche, un questionnaire mis en place par nos soins permettra de prendre en compte leur appréhension notamment sur les niveaux de savoir. Ces conceptions comportent de nombreux obstacles lors de l'apprentissage comme illustrés dans de nombreux travaux de recherche. Mais, comme nous l'avons souligné précédemment, nous nous baserons essentiellement sur les difficultés recensées par les analyses a priori.

#### **6-4-2 La conception et l'analyse a priori**

Dans cette phase, il est question pour le chercheur d'agir sur un certain nombre de variables dite variables de commande, qui sont pertinentes pour la recherche. Artigue (1988) distingue à cet effet deux types de variables de commande qui montrent que l'effet didactique a été testé :

- les variables macro-didactiques, qui concernent l'organisation de l'ensemble de l'ingénierie,
- les variables locales ou micro-didactiques, qui concernent l'organisation locale dans la salle de classe, et étroitement liées aux contenus visés par l'enseignement. Elles prennent en compte les variables d'ordre général ou d'ordre dépendant du contenu didactique visé par l'enseignement. Il est important de distinguer la variable problème à résoudre qui est à l'origine de la mise en place de l'ingénierie et la variable situation qui concerne la situation problème à résoudre au cours de l'implémentation de l'ingénierie.

Le rôle de l'analyse a priori est de montrer en quoi les choix effectués permettent de contrôler les comportements des élèves. D'après Artigue (1988), cette analyse a également un rôle descriptif et prédictif. Elle repose sur une situation adidactique que l'on a voulu constituer et dont on veut dévoluer la tâche à l'élève. Pour y parvenir, on décrit les choix qui sont effectués au niveau local sans oublier les caractéristiques de la situation adidactique qui en découle. On analyse l'enjeu de la situation à mettre en place afin de s'assurer qu'elle est bénéfique pour l'élève. On prévoit également un ensemble de comportement que l'apprenant pourrait manifester. Enfin, on tente de montrer le rôle du contrôle de l'analyse sur les comportements

qui se manifestent au cours de l'apprentissage tout en insistant sur le lien entre ces connaissances produites et celles mis en œuvre au cours d'un apprentissage.

### **6-4-3 L'expérimentation, l'analyse *a posteriori* et validation**

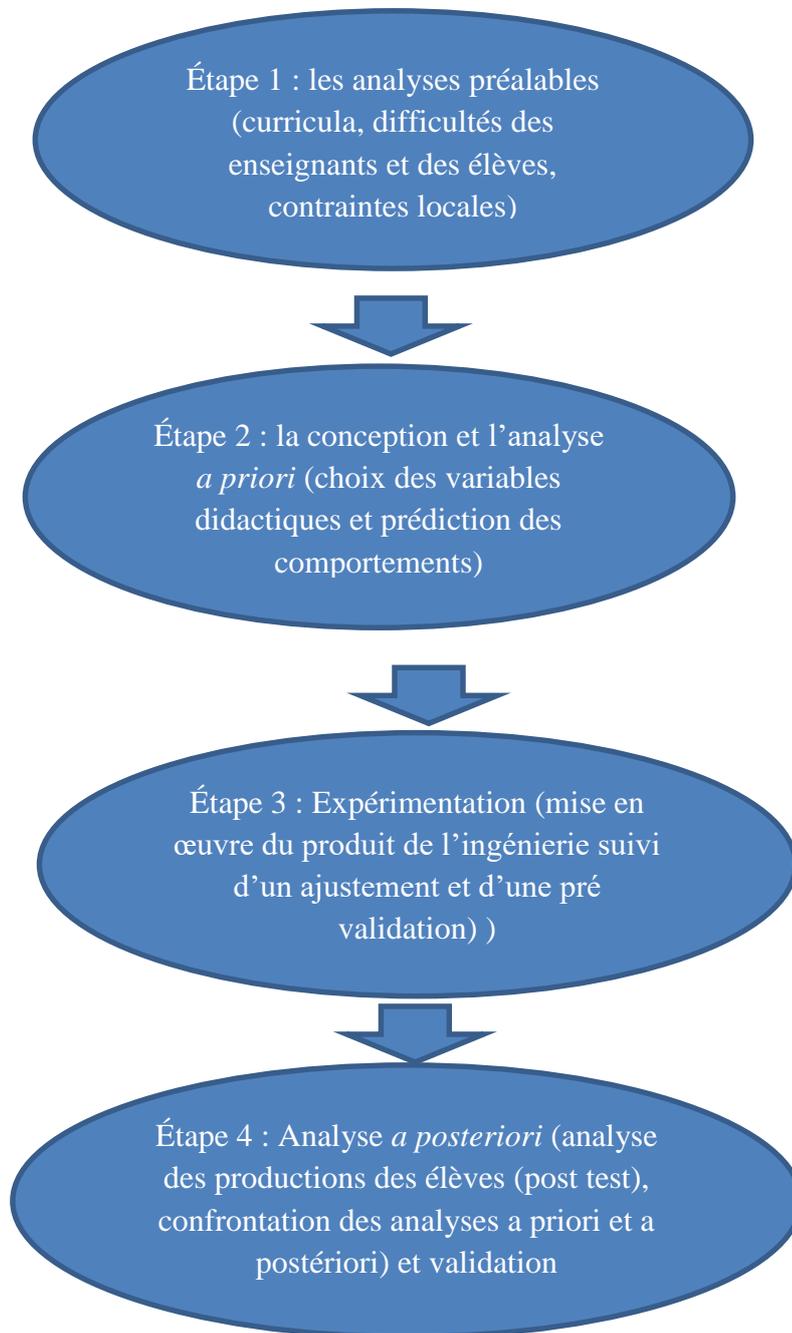
Cette phase s'appuie sur un ensemble de données recueillies au cours des expérimentations. Ces différentes données sont recueillies soit à travers :

- les différentes observations des séances d'enseignement ;
- les productions des élèves de préférence en situation de classe ;
- les questionnaires, aux entrevues individuelles ou réalisées par des petits groupes.

Comme nous l'avons souligné, c'est donc la confrontation entre les analyses *a priori* et *a posteriori* qui permet la validation des hypothèses engagées dans la recherche. Nous rappelons donc le principe de validation interne qui ne tombe pas dans le piège usuel des validations statistiques associées à des expérimentations de classe qui s'intéressent à la différence statistique entre les résultats issus des groupes expérimentaux et témoin. Cependant, Artigue pense que dans de nombreux travaux de recherche, les comparaisons entre les différentes analyses (*a priori* et *a posteriori*) sont des sources de nombreux désaccords, car la plupart des comparaisons entre les analyses (*a priori* et *a posteriori*) ne débouche pas toujours sur la validation des hypothèses engagées dans la recherche. Le volet concernant la validation n'est pas toujours pris en compte par des chercheurs. En effet, comme le précise Artigue (1988) les auteurs ont tendance à proposer des modifications de l'ingénierie visant à la simplifier sans toutefois s'engager dans une démarche de validation qui peut être assez longue.

## 6-5 Conclusion : bilan et implication pour la recherche

La figure 16 résume la méthodologie adoptée dans le cadre de ce travail.



**Figure 16 : Résumé des principales étapes de l'ingénierie didactique d'après Artigue (1988)**

Les analyses préalables concernent l'analyse des curricula (la place des niveaux de savoir dans les programmes de chimie de la classe de 6<sup>e</sup> à la classe de terminale scientifique),

l'analyse des difficultés des élèves (prétest et enquête historique), l'analyse des conceptions des enseignants, l'analyse du champ de contrainte dans lequel se réalisera l'ingénierie.

L'analyse *a priori* est une phase dans laquelle on prend en compte les conceptions des élèves sur les niveaux de savoir, via un questionnaire par exemple (prétest). Cette analyse est nécessaire dans la mise en place de l'ingénierie

La conception est une l'une des phases clé durant laquelle on met en place l'ingénierie didactique qui sera testé. Cette étape prend en compte les choix des variables didactiques qui non seulement orientent la recherche, mais aussi qui serviront à la prédiction des comportements. Cette phase se fait avec la collaboration des enseignants et des chercheurs.

L'expérimentation est la phase dans laquelle on met en œuvre le dispositif. Cette mise en œuvre permet de relever les limites qui seront pris en compte au cours des différents ajustements pour l'obtention du dispositif final.

La confrontation des différentes analyses (*a priori* et *a posteriori*) permet la validation des hypothèses engagées dans la recherche.

Cette partie nous a permis de faire des clarifications d'une part sur le type d'ingénierie didactique à utiliser dans le cadre de cette recherche, et d'autre part sur la démarche à utiliser dans l'usage de l'ingénierie didactique en tant que méthodologie de recherche. Le chapitre suivant présente quelques caractéristiques liées à l'étude.

# CHAPITRE 7 : MÉTHODOLOGIE DE COLLECTE DES DONNÉES

Ce chapitre présente la méthodologie de collecte des données liées à l'étude. Il s'agit du site de l'étude, de la population cible, de la population accessible, de l'échantillon choisi en tenant compte des techniques d'échantillonnage et du taux de sondage. La maîtrise de ces différentes contraintes est nécessaire dans la mise en place de l'ingénierie didactique. Par ailleurs, les considérations éthiques ont pour but de rassurer les participants sur la confidentialité des données. Le chapitre se clôture par une présentation des outils de collecte des données (prétest, test, post test ...) : les différents tests mis en place sont décrits.

## **7-1 Présentation du site de l'étude**

La recherche se déroule au lycée bilingue de Nkol-Eton. C'est un lycée situé dans la ville de Yaoundé (capitale du Cameroun), une ville cosmopolite, comportant en son sein des élèves issus de plusieurs régions du pays. En tant que lycée bilingue, ce lycée comporte deux sections (francophone et anglophone). Une organisation administrative est mise en place pour chaque section (vice principal, surveillants généraux, intendant, personnel soignant, enseignants...). Les sections sont toutes coordonnées par un seul responsable (le proviseur nommé par un arrêté ministériel). Le lycée comporte des salles de classe réparties en fonction des niveaux d'étude. Une salle de bibliothèque est prévue pour les travaux des élèves. Il en est de même pour les laboratoires destinés aux expérimentations.

## **7-2 La population**

Le terme population est un terme polysémique. En fonction du contexte, il prend un sens différent. Par exemple, dans le cadre de la statistique, il s'agit de l'ensemble des individus sur lesquels porte l'étude statistique. Le choix de la population obéit à de nombreux critères comme l'adéquation avec les objectifs de la recherche. Si le concept à étudier concerne les élèves d'une classe spécifique, la population choisie pour l'étude sera ces élèves. On identifie à cet effet deux types de population : la population cible et la population accessible.

### **7-2-1 La population cible**

Elle concerne l'ensemble des membres d'un groupe spécifique sur lequel les résultats seront applicables. Dans le cadre de cette étude, il s'agit des élèves de terminales scientifiques. En effet, le concept sur lequel l'étude porte, s'étudie exclusivement en classe de terminale au Cameroun.

### **7-2-2 La population accessible**

Il s'agit d'une partie de la population cible qu'on veut facilement atteindre ou approcher. C'est également l'ensemble des individus que le chercheur a la possibilité de rencontrer afin de choisir son échantillon. Dans le cadre de cette étude, le choix s'est porté sur les élèves et les enseignants du Lycée Bilingue de Nkol-Eton.

Les sujets de cette population présentent les caractéristiques suivantes :

- Être élève en classe de terminales scientifiques,
- Être enseignant en classe de terminale scientifique.

Le choix du lycée bilingue de Nkol-Eton se justifie premièrement par les facilités d'accès au site de l'étude compte tenu de notre poste de travail, deuxièmement par la disponibilité du personnel enseignant, ainsi que les responsables du laboratoire concernant les questions relatives à cette recherche. Une fois la population choisie, on s'intéresse à l'échantillon.

### **7-2-3 L'échantillon de l'étude**

D'après Bayle (2000, p.92) « *L'échantillon est la partie de l'univers qui sera effectivement étudiée et qui permettra par extrapolation de connaître les caractéristiques de la totalité de l'univers* ». D'après le dictionnaire Robert, consulté en ligne, c'est une petite quantité qu'on montre pour donner une idée de l'ensemble, c'est également une fraction représentative d'une population choisie en vue d'un sondage. D'après Alvaro (1997), l'échantillon désigne le résultat visant à prendre une partie d'un tout bien déterminé. Au sens large, ce terme désigne le résultat d'une opération visant à constituer le corpus empirique d'une recherche. Dans le cadre de cette étude, l'échantillon choisi est l'ensemble des élèves de terminale série C et D. Deux

classes de terminale D ( $D_1$  et  $D_2$ ) et une classe de terminale C. La classe de terminale C a pour spécialité Mathématiques et sciences physiques. La classe de terminale D a pour spécialité les mathématiques ainsi que les sciences de la vie et de la terre. Les élèves des séries C et D sont tous issus d'une même série au départ. Les orientations débutent dès la classe de première. Les élèves des séries  $D_1$  et  $D_2$  sont choisis suivant un critère d'excellence : les élèves ayant de bons résultats scolaires seront retenus en  $D_1$  et les autres y compris les redoublants seront retenus en  $D_2$ . Une fois l'échantillon choisi, il est nécessaire de préciser la technique d'échantillonnage utilisée à cet effet.

#### **7-2-4 Technique d'échantillonnage**

D'après Lafont (2020), il existe deux principales techniques d'échantillonnage : la technique probabiliste (aléatoire) et la technique non probabiliste (non aléatoire ou empirique). Ces deux techniques diffèrent par la façon dont les unités statistiques sont sélectionnées. En effet, Lafont (2020) précise que, dans la technique non aléatoire une méthode non aléatoire est utilisée par l'enquêteur dans le choix des unités statistique tandis que dans les techniques aléatoires, les échantillons sont pris de manière aléatoire. Ce choix aléatoire repose généralement sur une théorie de probabilité, généralement difficile à mettre en place sans intervention d'un spécialiste. D'où le recours au mode d'échantillonnage empirique (non aléatoire), qui consiste à spécifier les critères essentiels à l'enquête, et à opérer des choix des individus sur les bases de ces critères. Ce critère de choix n'obéit pas à la règle du hasard. Le choix est délibéré dans ce cas et contrôlé par l'enquêteur. De plus, les recherches qualitatives constituent leur échantillon d'une manière non probabiliste. Celle qui retient notre attention dans le cadre de cette étude est l'échantillonnage par quotas. L'échantillonnage par quotas est une méthode de choix des unités statistiques pour la technique non probabiliste. Cette technique repose sur des caractéristiques telles que l'âge, le sexe... En effet, dans cette méthode, on s'intéresse à la proportion des unités statistiques. Dans une étude par exemple on peut limiter le quota à 44 unités statistiques réparties en 22 filles et 22 garçons. On peut se poser la question afin de savoir les raisons qui nous amènent à choisir l'échantillonnage par quotas. Ce choix se justifie par le fait que l'échantillonnage par quotas permet de composer les échantillons en fonction des critères retenus au préalable. Comme exemple de critère nous avons : le sexe, l'âge, et les performances des élèves lors du prétest. Une fois la technique d'échantillonnage choisi, il devient intéressant de vérifier le taux de sondage de l'échantillon.

### **7-3 Choix des instruments de collecte des données**

Les instruments de collecte des données suivants ont été retenus :

- un prétest a permis de prendre en compte les appréhensions des élèves sur les niveaux de savoir,
- un TP portant sur la saponification a été mis en place et implémenté afin d'aider les élèves à circuler entre les niveaux de savoir (ingénierie didactique),
- un post test a été réalisé chez les élèves afin d'évaluer l'impact de l'ingénierie didactique mis en place via le TP sur la circulation entre les niveaux de savoir,
- un questionnaire a été adressé aux enseignants afin de mieux explorer les origines des réponses des apprenants d'une part, et d'autre part, afin d'avoir une idée plus pragmatique en situation de classe en ce qui concerne certains concepts énumérés dans le post test des élèves.

Le TP portant sur la saponification s'effectue en groupe de travail avec des comptes rendus individuels. Les autres tests et questionnaires demeurent individuels et purement confidentiels tels qu'indiqué au début de chaque questionnaire.

### **7-4 Validation des instruments de collecte des données**

La validation de l'instrument de collecte des données a pour but de s'assurer de l'adéquation entre l'outil de collecte des données et les objectifs de la recherche. A cet effet, deux validations s'avèrent nécessaires : une validation interne et une validation externe.

Une validation interne, qui consiste juste à se rapprocher des encadrants afin qu'ils vérifient la conformité des différents tests (prétest, test, post test, questionnaires, compte rendus guidés) avec les objectifs de la recherche. De manière spécifique, il était question pour les encadrants dans ce cas de regarder la clarté, la forme, l'ordre ainsi que la cohérence entre les questions. Cette opération a été conduite en 2021. Les différentes remarques faites par les encadrants ont permis d'ajuster les tests.

La validation externe se déroule sur le terrain par les enseignants de chimie des terminales C, D<sub>1</sub> et D<sub>2</sub>. Elle s'est tenue deux semaines avant le début réel des différents tests. Cette étape de validation a pour but de faire des ajustements en tenant compte des réalités sur

le terrain. Après l'étape de validation des instruments de collecte des données il convient de passer à la collecte.

### **7-5 Procédure de collecte des données**

La collecte des données s'est déroulée sur un mois, compte tenu de la période de vacances entre le deuxième et le troisième trimestre. Le prétest a été réalisé puis le TP (expérimentation) deux semaines après le prétest. Le post test a lieu une semaine après le TP. Pour le questionnaire des enseignants, il a été adressé à ces derniers durant le prétest. Ce planning de passage a été adopté non seulement en tenant compte de la disponibilité des enseignants titulaires de classe, mais aussi en intégrant la progression annuelle de manière à éviter les perturbations des cours. De plus, les enseignants titulaires des classes se sont montrés volontaire et se sont chargés de la passation des différents tests.

### **7-6 Description du prétest**

Le prétest permet de répartir les élèves dans les deux groupes (expérimental et témoin). Le test t de student permet de s'assurer qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes constitués. On parlera du test de student un peu plus loin dans ce travail. Le prétest d'environ une heure s'est déroulé deux semaines avant la séquence. La figure 17 présente le prétest.

La question 1 permet de prendre en compte les appréhensions des élèves sur le niveau macroscopique.

La question 2 permet de prendre en compte les appréhensions des élèves sur le niveau microscopique.

La question 3 permet de prendre en compte les appréhensions des élèves sur le niveau symbolique.

Pour les questions 4, 5 et 6 nous avons posé des questions sur différents concepts afin de regarder l'existence ou non des variations des réponses des élèves. Les exemples de réponses concernent les corps purs ainsi que les mélanges pour le niveau macroscopique, les atomes et les molécules pour le niveau microscopique.

La question 4 permet de rechercher les critères macroscopique, microscopique ou symbolique associés à la formule brute de l'éthanol ( $C_2H_5OH$ ). Dans cette question, nous voulons regarder si l'élève peut assimiler l'éthanol à une molécule (critère microscopique) ou encore à un corps pur composé (critère macroscopique).

La question 5 permet de rechercher les critères macroscopiques et microscopiques associés au dioxygène parmi les corps cités dans l'exemple correspondants. Dans cette question, nous voulons regarder si l'élève peut assimiler le dioxygène à une molécule (critère microscopique) ou encore à un corps pur simple (critère macroscopique).

La question 6 permet de rechercher les critères macroscopiques, microscopiques et symboliques associés à « Ag », parmi les corps cités dans l'exemple correspondant. Dans cette question, nous voulons regarder si l'élève peut assimiler l'argent à un atome (critère microscopique) ou encore à un corps pur simple (critère macroscopique).

La question 7 permet de rechercher les critères empiriques, macroscopiques, microscopiques et symboliques liés aux réactifs, ainsi qu'aux instruments utilisés dans la réalisation d'un TP portant sur la saponification. Pour cette question, on s'intéresse de manière spécifique aux niveaux de savoir employés. Lorsque l'élève parle des instruments du laboratoire, il se situe au niveau empirique, s'il parle des substances, il se déplace vers le niveau macroscopique. S'il représente les substances par leurs formules chimiques, il se déplace vers le niveau symbolique/ visualisation. Enfin, si l'élève parle des atomes, des molécules par exemple, il se déplace vers le niveau microscopique.

En vous appuyant sur les documents a, b et c répondez aux questions 1, 2, 3, 4 et 5



a- Solution de sulfate de cuivre (liquide)      b- Sulfate de cuivre (solide)

c) Dissolution du sulfate de cuivre ;



1- Qu'entendez-vous par macroscopique ?

.....

1-1 Donner un exemple d'illustration à l'aide des documents ci-dessus.....

.....

2- Qu'entendez-vous par microscopique ?.....

2-1 Donner un exemple d'illustration à l'aide des documents ci-dessus

.....

3- Qu'entendez-vous par symbolique ? .....

3-1 Donner un exemple d'illustration à l'aide des documents ci-dessus

.....

4- Choisir la (ou les) bonne(s) réponse(s) :

L'éthanol de formule brute  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  est : a) un corps pur simple b) un corps pur composé c) un atome d) une molécule e) un mélange f) aucune de ces réponses g) je ne sais pas.

5- Choisir la (ou les) bonne(s) réponse(s) :

Le dioxygène est : a) un corps pur simple b) un corps pur composé c) un atome d) une molécule e) un mélange f) aucune de ces réponses g) je ne sais pas

6- Choisir la (ou les) bonne(s) réponse(s). Ag représente :

a) un corps pur simple b) un corps pur composé c) un atome d) une molécule e) un mélange f) aucune de ces réponses g) je ne sais pas

7- Nous désirons fabriquer du savon ; après avoir décrit au maximum les réactifs à utiliser, leurs rôles, proposer un protocole de fabrication du savon .....

.....

**Figure 17 : prétest des élèves**

Cependant, rappelons que dans ce prétest, les trois premières questions ainsi que la question 7, sont des questions ouvertes. Les questions 4 à 6 sont des questions fermées avec des choix de réponses. Les réponses proposées aux élèves concernent les niveaux de savoir, tandis

que, dans les autres cas, le choix est laissé à l'élève afin que nous puissions regarder le niveau qu'il emploie. Avant de répondre aux questions du prétest, les élèves doivent être identifiés (nom, prénom, âge et ancienneté dans la classe).

L'objectif du questionnaire leur est expliqué : « *Dans le cadre d'un travail de recherche sur l'enseignement de la chimie, nous vous invitons à remplir ce questionnaire. Il vise à comprendre et à améliorer l'enseignement de la chimie. Pour cela nous avons besoin que vous répondiez à ce questionnaire de manière individuelle. Les réponses seront strictement confidentielles, seuls les chercheurs y auront accès.* ».

Avant de décrire le TP portant sur la saponification, rappelons que les élèves de toutes les classes ont suivi le même cours théorique (Annexe 1) portant sur la saponification. La phase théorique a duré une heure, la phase pratique une heure également. Les élèves suivent tous un cours théorique mais seule une moitié (les classes expérimentales) suit le TP.

### **7-7 Description du test (TP saponification)**

Dans cette partie on décrit le déroulement du TP en tenant compte des objectifs de la recherche. Pour rappel, nous voulons regarder si la mise en place d'un TP portant sur la saponification peut aider les élèves à circuler entre les niveaux de savoir.

Nous nous focalisons sur un TP de chimie et nous regardons comment les élèves au travers de leurs langages circulent entre les différents niveaux de savoir (empirique, macroscopique, microscopique, symbole). Nous nous référons au modèle des niveaux de savoir proposé par Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2014). Les élèves pourront manipuler en notant à chaque fois les observations (niveau macroscopique et empirique), ils pourront traduire les observations soit par des schémas (modèles) soit par l'explication des phénomènes au niveau microscopique, soit par des équations (niveau symbolique / visualisation).

La photographie ci-dessous (Figure 18) représente le matériel didactique utilisé. Ce matériel du laboratoire que nous avons apporté en salle de classe est constitué d'une bouteille d'huile de palme rouge préalablement chauffée, de spatules, de béchers, d'une bouteille contenant la solution de soude. Le récipient noir permet de se nettoyer en cas de contact direct avec les produits chimiques.



**Figure 18 : matériel didactique**

L'objectif de ce TP est qu'à la fin de cette séance l'élève doit être capable de :

- Fabriquer du savon.
- Expliquer le TP, la réaction en utilisant les différents niveaux de savoir (description, explication, modélisation...).

L'objectif pour la recherche est d'amener les élèves à expérimenter, et voir si le fait d'expérimenter leur permet d'appréhender les différents niveaux de savoir afin de pouvoir circuler aisément entre ces niveaux.

Le TP comportant l'outil didactique (voir protocole) comprend quatre phases.

### **MISE EN SITUATION**

L'enseignant présente la situation problème aux élèves : « *Lorena et Martial du retour des champs veulent se laver ; ne disposant pas de savon pour le bain, ils se rappellent que leur grand-mère a coutume de fabriquer et de commercialiser ce produit. Ils disposent pourtant du matériel, mais ne savent pas comment procéder. En vous servant du protocole de fabrication mis en place par les chimistes, aidez Lorena et Martial à fabriquer le savon pour qu'ils puissent prendre leur bain* ».

### **PHASE D'ACTION**

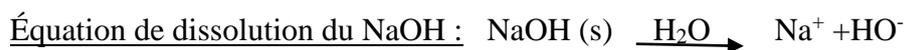
Durant la phase d'action, l'enseignant suit les recommandations du chercheur qui consiste à laisser les élèves identifier le problème ainsi que la tâche à effectuer. Cette phase correspond à la première configuration de l'expérimental chez Coquidé (2003) : l'expérience- action. Par la suite, les élèves discutent entre eux sur la nature du problème dans un premier temps, dans un second temps ils recherchent des solutions au problème posé. L'enseignant présente le matériel aux élèves, il s'assure de la bonne maîtrise du matériel durant la manipulation. Il leur demande de manipuler en notant au fur et à mesure

les observations. Les postes de manipulation étant constitués à l'avance, l'enseignant demande aux élèves d'identifier les réactifs en précisant à chaque fois leurs couleurs, ainsi que leurs noms et formules. A la fin de la phase d'action, le professeur donne la formule brute de la palmitine.

### PHASE DE FORMULATION

L'enseignant demande aux élèves de regrouper les données issues des observations, ainsi que celles issues des recommandations en début du TP en différentes catégories qu'ils préciseront. Cette phase correspond à la deuxième configuration de l'expérimental chez Coquidé (2003) : l'expérience- objet. Ce qui est attendu par l'enseignant dans ce cas concerne d'une part les objets et les phénomènes observés (niveau macroscopique et empirique). Comme exemple, nous avons le matériel destiné à l'expérimentation, la nature ainsi que les couleurs des solutions. Le professeur leur demande comment expliquer le TP à leurs camarades absents. Les élèves proposeront des descriptions du vécu expérimental, l'équation bilan (modélisation), des catégories de regroupement (visibles, invisibles, autre) ainsi que des schémas explicatifs (modélisation), des explications au niveau microscopique.

Ici les élèves écrivent facilement l'équation bilan de la réaction de saponification car ils ont des prérequis sur les alcools, les acides, les esters. Ils maîtrisent également l'écriture d'une équation bilan. Pour l'écriture de l'équation bilan, l'enseignant demande au préalable d'écrire l'équation bilan de la réaction en se servant des noms des composés utilisés durant la manipulation (première étape de la modélisation) ; puis ils remplacent les noms des composés par leurs formules brutes, en mettant les signes pour séparer les réactifs et la flèche pour indiquer le sens de la réaction (deuxième étape de la modélisation). L'enseignant interroge les élèves sur le rôle des signes présents dans une équation bilan. L'enseignant pourra expliquer aux élèves les deux réactions qui ont lieu : tout d'abord la formation du triester, ensuite la réaction de ce triester avec la soude. Pour les élèves en difficulté, l'enseignant fait une petite remédiation sur les étapes de formation du savon. Cette remédiation est décrite ci-après :



Nous avons utilisé la palmitine comme triester (huile de palme préalablement chauffée), on insistera sur la formation préalable de ce triester dans un premier temps.



Dans un second temps, la palmitine formée réagit avec la solution de soude pour former le savon :



### PHASE DE VERIFICATION

Ce qui intéresse le chercheur ici, c'est de voir le niveau employé par les élèves avant pendant et après la manipulation. Il observe le jeu de va et vient entre les registres de savoir, et le milieu didactique. Cette phase correspond à la troisième configuration de l'expérimental chez Coquidé (2003) : l'expérience-validation. Durant cette phase, l'enseignant demande aux élèves de confronter non seulement les observations faites au début de l'expérimentation, pendant et après la manipulation, mais aussi les résultats obtenus par d'autres classes tout en expliquant les différences. L'enseignant oriente ainsi le débat suivant trois axes : descriptif, représentatif et explicatif en rapport direct avec les catégories (empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation) proposées par les élèves. A la fin du débat, les élèves rédigent chacun un compte rendu guidé.

Les élèves discutent de leurs résultats ; l'enseignant régule les échanges. Il intervient en cas de nécessité ; les résultats sont identiques lorsque le protocole expérimental est bien mis en place. Dans la phase de vérification l'enseignant s'intéresse également aux catégories recensées par les élèves. En effet, lorsque l'élève parle des outils destinés à l'expérimentation il se situe au niveau empirique, lorsqu'il décrit les changements observés durant l'expérimentation il se déplace vers le niveau macroscopique, lorsque l'élève explique la réaction chimique via les termes comme « molécules » à ses camarades il se déplace vers le niveau microscopique. Lorsque l'élève écrit l'équation bilan de la réaction chimique, il se déplace vers le niveau symbolique/visualisation. Enfin, lorsque l'élève décrit l'expérience par un schéma il se réfère aux modèles. Si l'élève ne fait pas allusion à l'une des catégories annoncées, une remédiation devient nécessaire. Le rôle de l'activité de remédiation est d'aider l'élève à circuler entre les différents niveaux de savoir en s'appuyant sur les travaux pratiques. Durant l'activité de remédiation, l'enseignant joue un rôle important puisqu'il guide l'action didactique et soutient l'élaboration conceptuelle des

élèves (Nkeck 2013). L'intervention est ciblée puisque les difficultés des élèves sont variables. Pour certains, la difficulté se situe au niveau du nom des substances. Pour d'autres, il s'agit de la formule chimique : soit de la soude, soit de la palmitine ou du savon...Il revient à l'enseignant de jouer un rôle médiateur entre l'élève et le savoir. Pour les élèves qui ont du mal à circuler entre différents niveaux de savoir, l'enseignant les amènent à regrouper les savoirs dans différents niveaux tel que prévu dans l'activité de remédiation (annexe 15).

### **PROTOCOLE EXPERIMENTAL**

#### **Rappel important**

- Ce travail est à faire par poste de 5 élèves ;
- Le chef du groupe peut attribuer des tâches à chaque membre du groupe ;
- Chaque membre du groupe doit participer à la manipulation ;
- Chaque membre du groupe doit noter les changements observés lors des mélanges au fur et à mesure qu'il manipule ;
- Un compte rendu individuel et anonyme est attendu après la manipulation via un formulaire à compléter qui leur sera rendu à la fin de ce test.
- Éviter tout contact direct avec les produits à utiliser ;
- Porter : des gants, une blouse de couleur blanche, des lunettes de protection ;
- Tout le monde manipule en étant debout ;
- Ne pas goûter les produits
- La soude est un produit corrosif vis à vis des métaux et de la peau

#### **1- Matériel par poste de travail (phase d'action)**

- Bécher 100 mL
- Huile de palme
- Soude
- Silicate de sodium
- Moule
- Spatule
- Eprouvette

## **2- Préparation de la solution de soude (*phase d'action*)**

Verser 1kg d'hydroxyde de sodium dans un seau de 5L contenant 2L d'eau puis laisser le mélange refroidir (3h).

## **3- Préparation du savon : procédé à froid (*phase d'action*)**

- Prélever 20 mL d'huile de palme, introduire dans un bécher de 100 mL
- Prélever également 5 mL de solution de soude précédemment préparée, introduire dans le bécher précédent de 100 mL
- Ajouter quelques gouttes de silicate
- Agiter le mélange dans un même sens jusqu'à la formation du précipité.
- Introduire le précipité dans un moule, puis le laisser pour qu'il puisse sécher au bout de trois jours.

**Figure 19 : Protocole expérimental**



**Figure 20 : Une photographie qui montre les élèves qui manipulent**

Une note été faite par le chercheur à l'enseignant. Cette note est la suivante : « Les manipulations (préparation du triester, préparation du savon), s'effectuent durant la phase d'action. Après avoir assimilé le problème, les élèves convergent vers sa résolution grâce au matériel didactique disponible. Ils suivent le protocole recommandé par l'enseignant durant cette phase d'action. Toutes les observations faites par les élèves durant la phase d'action seront utilisées durant la phase de formulation et de vérification. ». Une grille d'observation (Annexe 2) en rapport avec le cadre théorique permet de suivre l'activité de l'enseignant puis celle de

l'élève. Il est question de savoir ce que l'élève fait exactement pendant la manipulation. A la fin de la manipulation, les élèves rédigent un compte rendu guidé (Annexe 3).

## 7-8 Le post test

Le post test d'une durée d'une heure s'est déroulé une semaine après la phase théorique et pratique. Il permet de vérifier l'impact de l'expérimentation sur la distinction des niveaux de savoir. De manière spécifique, nous voulons regarder premièrement l'évolution des appréhensions des élèves sur « le macroscopique », « le microscopique », et « le symbolique/visualisation », deuxièmement l'évolution de la proportion de chaque niveau de savoir présent dans les productions des élèves. Ce post test comporte à la fois des questions ouvertes ainsi que des questions fermées.

### POST TEST

« Dans le cadre d'un travail de recherche sur l'enseignement de la chimie, nous vous invitons à remplir ce questionnaire. Il vise à comprendre et à améliorer l'enseignement de la chimie. Pour cela nous avons besoin que vous répondiez à ce questionnaire de manière individuelle. Les réponses seront strictement confidentielles, seuls les chercheurs y auront accès. »

En vous appuyant sur les documents a , b et c répondez aux questions 1, 2, 3, 4 et 5



a- Solution de sulfate de cuivre (liquide)      b- Sulfate de cuivre (solide)

c) Dissolution du sulfate de cuivre ;



1- Qu'entendez-vous par macroscopique ?.....

.....

1-1 Donner un exemple d'illustration à l'aide des documents ci-dessus.....

.....

2- Qu'entendez-vous par microscopique ?.....

.....

2-1 Donner un exemple d'illustration à l'aide des documents ci-dessus  
 .....  
 3- Qu'entendez-vous par symbolique ? .....  
 .....  
 3-1 Donner un exemple d'illustration à l'aide des documents ci-dessus  
 .....  
 4- Choisir la (ou les) bonne(s) réponse(s) :  
 L'éthanol de formule brute  $C_2H_5OH$  est : a) un corps pur simple b) un corps pur composé c) un atome d) une molécule e) un mélange f) aucune de ces réponses g) je ne sais pas  
 5- Choisir la (ou les) bonne(s) réponse(s) :  
 Le dioxygène est : a) un corps pur simple b) un corps pur composé c) un atome d) une molécule e) un mélange f) aucune de ces réponses g) je ne sais pas  
 6- Choisir la (ou les) bonne(s) réponse(s). Ag représente :  
 a) un corps pur simple b) un corps pur composé c) un atome d) une molécule e) un mélange f) aucune de ces réponses g) je ne sais pas  
 7- Nous désirons fabriquer du savon ; après avoir décrit au maximum les réactifs à utiliser, leurs rôles, proposer un protocole de fabrication du savon .....  
 .....  
 Vous avez réalisé la réaction de saponification, vous avez certainement fait de nombreuses observations.  
 8- Décrire le protocole expérimental, son déroulement, des réactifs jusqu'à l'obtention des produits.  
 .....  
 9- Décrivez au maximum, les réactifs utilisés, le produit obtenu de même que la démarche d'obtention de ce produit  
 .....  
 10- Comment peut-on interpréter le phénomène observé ?  
 .....  
 11-Reproduisez l'expérience à l'aide d'un schéma tout en notant à chaque étape les changements observés  
 .....

**Figure 21 : post test**

En ce qui concerne, le post test, les huit premières questions du prétest ont été reportées au post test afin de pouvoir comparer l'évolution des conceptions des élèves sur le macroscopique et le microscopique avant et après expérimentation. Les quatre autres questions (question 8, 9, 10 et 11) ont été rajoutées. Ces dernières sont étroitement liées à l'ingénierie didactique mis en place. Elles permettront donc de voir son impact. Le rôle de chacune de ces dernières questions est décrit ci-dessous.

Pour la question 8, nous recherchons les critères empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation associés au protocole expérimental et aux substances utilisées.

Pour la question 9, nous nous intéressons aux critères empiriques et macroscopiques associés aux substances (réactifs, produits) via la description des phénomènes observés du début à la fin de l'expérimentation.

Pour la question 10, nous regardons si l'élève peut interpréter une équation bilan en se servant d'un niveau de savoir de son choix (niveau empirique, niveau macroscopique, niveau microscopique, niveau symbolique / visualisation).

Pour la question 11, nous voulons regarder si l'élève utilise les symboles issus du niveau symbolique/visualisation pour représenter le phénomène, on regarde aussi l'usage ou non des modèles, mais aussi des autres niveaux de savoir. En cas d'emploi de mots ayant des rapports aux niveaux de savoir, nous les exploiterons au moment des analyses.

## **7-9 Le questionnaire pour enseignants**

De manière générale, ce questionnaire (Figure 22) a pour but de prendre en compte dans un premier temps les appréhensions des enseignants face aux niveaux de savoir, dans un second temps, il s'intéresse à la place qu'occupent ces niveaux de savoir dans le programme. Ce questionnaire comporte uniquement des questions ouvertes.

Les questions 1, 2 et 3 visent de manière respective les appréhensions des enseignants face aux niveaux macroscopique, microscopique et symbolique.

L'objectif de question 4 est de regarder la place qu'occupent les niveaux de savoir dans le programme. De manière spécifique, on veut regarder à travers le regard des enseignants si les niveaux de savoir sont pris en compte au cours de la conception des programmes de chimie au Cameroun.

La question 5 associée aux questions 5-1 et 5-2 a pour but de vérifier l'usage des termes ayant trait aux niveaux de savoir dans l'enseignement de la chimie. Nous voulons par exemple regarder si dans le discours d'un enseignant, les termes (bêchers, burette) pour le niveau empirique sont présents, (couleur, solution) pour le niveau macroscopique, (ions, molécules...) ; pour le niveau symbolique/ visualisation, (signes, symboles...).

Les questions 6, 7, 8 ont pour but de vérifier dans un premier temps l'entendement des enseignants face à l'expérimentation et dans un second temps, la place qu'occupe l'expérimentation dans les pratiques de classe. L'expérimentation étant un élément clé de la recherche, nous voulons voir non seulement comment les enseignants définissent l'expérimentation, mais aussi son importance dans l'enseignement puisque le TP mis en place est une expérimentation.

Les questions 9 et 9-1 ont pour but de prendre en compte les appréhensions des enseignants sur la place de l'expérimentation dans l'enseignement de la chimie.

La question 9-2 a pour but de prendre en compte les appréhensions des enseignants sur la distinction des niveaux de savoir. En effet on veut regarder si les enseignants peuvent proposer les démarches de circulation entre les niveaux de savoirs.

**Les conceptions des praticiens (Sur le macroscopique et le microscopique)**

Nom et prénoms .....

Age.....

Ancienneté au poste de travail .....

Nombre d'années de dispenses des cours en classe de terminale scientifique .....

Matières dispensées : .....

*« Dans le cadre d'un travail de recherche sur l'enseignement de la chimie, nous vous invitons à remplir ce questionnaire. Il vise à comprendre et à améliorer l'enseignement de la chimie. Pour cela nous avons besoin que vous répondiez à ce questionnaire de manière individuelle. Les réponses seront strictement confidentielles, seuls les chercheurs y auront accès. »*

1- Qu'entendez-vous par niveau macroscopique en chimie ?.....

.....

2- Qu'entendez-vous par niveau microscopique en chimie ?.....

.....

3- Qu'entendez-vous par niveau symbolique en chimie ?.....

.....

4- Le programme de chimie en vigueur, propose-t-il une circulation entre les registres macroscopique et microscopique ? Justifier votre réponse .....

.....

5- Utilisez-vous les niveaux macroscopique, microscopique et symbolique dans votre enseignement ? .....

5-1 Si oui décrivez en quelques lignes une démarche qui intègre ces trois niveaux de savoir (macroscopique, microscopique, symbolique) .....

.....

5-2 Si non formuler une raison qui expliquerait sa non-prise en compte dans l'apprentissage par vous-même ou par vos collègues.

6- Que signifie expérimenter ?

.....

7- Pratiquez-vous l'expérimentation dans l'enseignement de la chimie ?.....

8- D'après vous l'expérimentation peut-elle présenter des atouts pour l'apprentissage ?

.....

8-1 Si oui dans quelle mesure ? .....

.....

8-2 Si non expliquer pourquoi ? .....

.....

9- Selon vous l'expérimentation peut-elle permettre à l'apprenant de distinguer le macroscopique du microscopique au regard des pratiques des classes ?.....

9-1 Si oui donner une raison explicative.....

.....

9-2 Si non comment peut-on distinguer le macroscopique du microscopique au regard des pratiques de classe ?.....

**Figure 22 : Questionnaire des enseignants**

### **7-10 Quelques considérations éthiques liées à la méthodologie de collecte des données**

Avant de remettre les différents questionnaires aux enseignants titulaires des terminales C, D1 et D2, ils ont au préalable rempli un formulaire de consentement (annexe 16). Le but de

ce formulaire est de rassurer les participants sur la confidentialité des données. Cependant, il est également nécessaire d'élaborer ces considérations afin de montrer la liberté totale des participants.

## **7-11 Conclusion**

Ce chapitre nous a permis de présenter les éléments sur lesquels se basera la recherche. Nous avons tour à tour exploré la population, les échantillons, les techniques d'échantillonnage, les instruments de collecte des données (prétest, test (TP), post test, questionnaire pour les enseignants) chaque test a été décrit afin de faciliter la compréhension des objectifs de la recherche. Par ailleurs, l'ingénierie didactique a été mise en place en s'appuyant sur la théorie des situations didactiques et sur l'axe de recherche portant sur les niveaux de savoir. Ces différents tests ont été mis en place en tenant compte des considérations éthiques de la recherche. Il serait intéressant d'explorer dans le chapitre 8, les instruments d'analyses des données recueillies au cours des différents tests.

# CHAPITRE 8 : MÉTHODOLOGIE DE TRAITEMENT DES DONNÉES

Ce chapitre présente la méthodologie de traitement et d'analyse des données. Pour le traitement des données, une grille a été mise en place pour chaque test. Dans cette partie, on explicitera le contenu de chaque grille. Avant de présenter les différentes grilles, il est intéressant de préciser les types d'analyse utilisés dans ce travail. L'analyse des productions des élèves regroupe les données mixtes (qualitatives et quantitatives). On s'appuiera sur les travaux de Canac (2018). Pour y parvenir, on regroupera les réponses par catégories. On présentera donc le procédé de codification des données.

## 8-1 Les analyses mixtes (qualitatives et quantitatives)

L'analyse mixte regroupe à la fois les données qualitatives et quantitatives. Ces deux analyses se complètent. L'une s'intéresse à la description (analyse qualitative) et l'autre à la démonstration en s'appuyant sur des données empiriques (analyse quantitative). Nous présenterons premièrement le rapport entre les deux analyses, deuxièmement l'analyse qualitative et troisièmement l'analyse quantitative. Le tableau 3 indique les rapports entre les deux analyses.

**Tableau 3 : Rapport entre les analyses qualitatives et quantitatives d'après De Ketele et al. (2010)**

	Analyse qualitative	Analyse quantitative
But	Herméneutique (comprendre)	Nomothétique (expliquer et prédire)
Démarche	Inductive	Hypothético-déductive
Plan de recherche	Recueil de données ouvert	Recueil de donnée standardisé
Type de codage	Codage narratif	Codage quantitatif ou numérique
Méthode de traitement des données	Analyse thématique (recherche du sens des données)	Analyse statistique des données

D'après De Ketele et al. (2010), comme indiqué dans le tableau 3, l'une des différences fondamentales entre ces deux types d'analyse repose sur le fait que les données quantitatives sont exprimées avec des chiffres tandis que les données qualitatives sont exprimées avec des mots. Par ailleurs, ces deux analyses ont d'autres différences, du point de vue de la démarche, du but, du plan de recherche, du codage sans oublier la méthode de traitement des données (voir tableau 3).

### **8-1-1 Les étapes de l'analyse qualitative**

Avant de donner les étapes d'une telle analyse, rappelons qu'elle permet de rendre compte de ce qui a été dit de manière objective et plus fiable. L'analyse qualitative la plus connue est l'analyse des contenus. Les contenus peuvent être un questionnaire par exemple. Pour y parvenir, les données doivent être retranscrites, codées puis traitées.

### **8-1-2 La nature des données et le processus de retranscription**

Les données obtenues se présentent dans la plupart des cas sous forme de textes, de phrases, de photos (Andreani et Cochon, 2005) ... Elles peuvent correspondre à des sources diverses : récits, comptes rendus, réponses à des questions. Ces ensembles de sources constituent des sources de production en général. Dans la plupart des recherches en éducation, et de manière similaire à notre étude, les données sont issues des questionnaires adressés aux enseignants et aux élèves. Une fois les données recueillies, l'étape de retranscription débute. En effet, cette étape consiste à reporter l'ensemble des productions recueillies dans un espace adéquat afin de faciliter son traitement. A cet effet, la retranscription peut se faire de manière manuelle, ou à l'aide d'un logiciel informatique. Dans le cadre de cette étude, les données ont été reportées dans un logiciel de traitement de notre choix « Excel » pour un traitement adéquat. Après la retranscription, l'étape du codage intervient.

### **8-1-3 La codification**

En général, on distingue deux types de codification : le codage ouvert et le codage fermé.

#### **- Le codage ouvert**

Dans ce type de codage, la grille n'est pas établie au départ. C'est l'ensemble des verbatims recueillis qui permettent de mettre en place une grille. Pour y parvenir il est fortement

conseillé de repérer les sous thèmes dans le texte en les soulignant. D'après Strauss et Corbin (1998), ces sous thèmes sont en réalité des sous catégories des thèmes généraux qui correspondent aussi aux fragments du texte. En effet, plusieurs idées sont dans la plupart des cas repérées dans le texte mais elles sont généralement sélectionnées en fonction des finalités de l'étude. Par ailleurs les catégories d'analyse doivent obéir aux critères de Berelson (1952) : l'homogénéité, exhaustivité, l'exclusivité, et l'objectivité.

- Le premier critère concerne l'homogénéité, en effet, il est question ici de regrouper les données des enquêtes ayant des significations semblables.
- Le second critère concerne l'exhaustivité. Ce critère recommande de prendre en compte tous les propos (productions) lors du recueil des données de manière à ce que rien ne puisse échapper au moment de l'analyse.
- Le troisième critère concerne l'exclusivité. Selon ce critère, un thème ne doit appartenir qu'à une seule catégorie.
- Le quatrième critère concerne l'objectivité. Selon ce critère, il ne pas y avoir de variation de jugement entre les codeurs. De plus, l'analyste doit être suggestif.

Ces différentes catégories doivent être en conformité avec les objectifs de la recherche.

#### **- Le codage fermé**

Il s'agit d'une autre démarche de traitement des données, de manière fermée. Dans ce type de codage une grille est établie a priori contrairement au codage ouvert. D'après Andreani et Cochon (2005), le rôle de la grille d'analyse établie est de valider les hypothèses et les théories auxquelles l'enquête se réfère de façon a priori. De plus, les données recueillies ont pour rôle de tester la validité des hypothèses. Par ailleurs, cette procédure se réfère à Henri et Moscovici (1968). Dans ce type de procédure, la grille d'analyse contient les variables observables et les variables explicatives Les informations peuvent être codées en variables explicatives ainsi qu'en variables à expliquer. Il revient à chaque enquêteur d'établir les catégories d'analyse propre à son étude.

Le tableau ci-dessous résume les deux types de codage.

**Tableau 4 : Récapitulatif des types de codage d'après Andreani et Cochon (2005)**

<b>Codage ouvert</b>	<b>Codage fermé</b>
Lecture ligne par ligne des données pour les généraliser (processus d'abstraction)	Lecture ligne par ligne des données et codage en fonction des hypothèses de recherche (processus de traduction)
Recherche d'ensemble similaire, classement et comparaison	Variables explicatives et variables à expliquer établies de façon a priori
Codage des principales dimensions et codage sélectif des idées centrales et répétitives	Codage des indicateurs de recherche

L'analyse du tableau 4 montre globalement que, les deux types de codage ont à peu près la même démarche. Par exemple, pour réaliser chacun des types de codage, il faut effectuer une lecture ligne par ligne des données afin de les exploiter que ce soit du point de vue des ensembles similaires pour le codage ouvert, ou encore en variables explicatives et à expliquer pour le codage fermé.

Dans le codage ouvert, puisque la grille n'est pas définie dès le départ, il revient au chercheur de choisir les thèmes (idée maitresse). Le rôle de ces thèmes est d'établir des catégories puisque les réponses des répondants sont diversifiées et ne sont pas toujours en rapport avec la recherche. Cette phase s'avère complexe puisqu'elle demande un travail minutieux de la part du chercheur pour trouver les critères, dans le but d'appréhender tous les contours des données obtenues. Le chercheur procède ensuite à un regroupement d'idées similaires dans un thème. Une fois que les données sont regroupées par thème, le chercheur peut faire un codage sélectif puisque toutes les données obtenues ne sont pas nécessairement utiles pour la recherche.

Dans le codage fermé, la grille est définie au préalable par le chercheur. C'est la grille qui oriente les activités du chercheur. En fonction des hypothèses de la recherche, le chercheur établit des catégories telles que les variables explicatives et les variables à expliquer. Le codage s'effectue en fonction des indicateurs de la recherche puisque les objectifs de la recherche sont connus. Comme différence entre ces deux types de codage, le codage ouvert s'effectue par sélection des idées centrales et répétitives tandis que le codage fermé s'appuie sur les indicateurs de la recherche. Par ailleurs, dans le codage fermé la grille semble plus facile à

mettre en place par rapport au codage ouvert qui nécessite un travail d'analyse supplémentaire des productions avant le codage.

#### **8-1-4 Implication du type de codage dans la recherche**

Dans la présente étude, le codage utilisé est le codage fermé car la grille est établie au préalable en tenant compte des objectifs de la recherche. Les codes utilisés sont des mots tels que, « empirique », « macro », « micro », « symbole », « modélisation » d'une part, « *correcte* » et « *incorrecte* » d'autre part. Par exemple dans le vocabulaire des élèves, si on retrouve le nom d'une substance par exemple, on range la réponse dans « *macro* », si l'élève parle d'ion, d'atome ou de molécule, on range la réponse dans « *micro* ». Si l'élève parle des instruments du laboratoire (bécher, spatule), on range la réponse dans « *empirique* », et « *symbole* » lorsqu'il écrit une formule chimique, un signe ou une équation bilan. Enfin, lorsque le vocabulaire de l'élève comporte au moins deux niveaux de savoirs, on considère la réponse comme « *correcte* » et « *incorrecte* » dans le cas contraire. Pour les questions à choix multiples, nous considérons les réponses « *correctes* » uniquement lorsque l'élève fait le choix de toutes les bonnes réponses. Cette dernière catégorie « *correcte/ incorrecte* » s'avère utile dans les calculs statistiques (analyse quantitative). Ces différents codes sont clairement expliqués dans les différentes grilles d'analyse propres à chaque test.

#### **8-1-5 Procédure du codage**

En général, il existe deux procédures de codage : celle qui est destinée à l'analyse sémantique, et celle réservée à l'analyse syntaxique.

D'après Ghiglione et Matalon (1985), l'unité syntaxique est un groupe de mots, de phrases qui peut être issu de diverses sources. Dans ce type de codage, il est question de coder les textes par des phrases ayant des sujets, des verbes, de compléments ou des groupes de mots. Le codage repère les mots clés ainsi que leurs synonymes qu'il range dans les mêmes catégories.

En ce qui concerne l'analyse sémantique, contrairement à l'analyse syntaxique qui recommande le découpage du texte, on s'intéresse dans ce cas aux passages qui ont des idées clés. Ce processus se déroule selon le procédé de l'analyse thématique. En effet, Andreani et Cochon (2005) pensent que les unités de codages sont donc les idées clés des différentes productions dans ce cas les thèmes sont découpés en fonction de l'objectif de la recherche. De

plus, ils précisent que l'unité psychologique concerne les gestes, les images, les émotions. La figure ci-dessous récapitule les unités de codage.

**Tableau 5 : récapitulatif des unités de codage selon Andreani et Cochon (2005)**

	Analyse syntaxique	Analyse sémantique
Critères de découpage des unités d'analyse	Phrases Morceaux de phrases	Idées-clés
Unités de contenu	Découpage du texte intégral en une suite de mots	Découpage des idées et des thèmes

Au cours de cette recherche, nous avons employé l'analyse sémantique puisque nous recherchons le vocabulaire qui correspond à un niveau de savoir spécifique, et ceci pour tous les niveaux de savoirs. Le traitement qualitatif des données après le codage conduit à la quantification des données. Le traitement se base dans ce cas sur la statistique mais les données peuvent être analysées à deux dimensions : au niveau qualitatif et au niveau quantitatif.

### **8-1-6 Le traitement de données quantitatives**

Dans le traitement des données quantitatives, plusieurs tests sont généralement utilisés. Dans le cadre de cette étude, on utilisera le test de student, le test de Fisher et le test du Khi-2.

#### **- Le test de Student : le test d'homogénéité**

D'après Zarrouk (2012), un test statistique est un test qui ne se limite pas à la description des observations, mais extrapole les constats à un ensemble plus vaste, ce qui permet de tester des hypothèses afin de prendre des décisions. D'après Zarrouk (2012), le test de student permet de comparer :

- les moyennes de deux échantillons appariés,
- les moyennes de deux échantillons indépendants,
- les moyennes d'un échantillon à une valeur donnée.

De manière spécifique, il s'agit de savoir si les moyennes des deux groupes à comparer sont significativement différentes du point de vue de la statistique. Compte tenu de la taille de

l'échantillon (inférieur à 30) par petit groupe classe, le test t de student est retenu pour des échantillons indépendants. En effet, si les moyennes des deux groupes sont identiques, cela signifie que les deux groupes sont homogènes. En effet, les calculs statistiques peuvent se faire de manière manuelle, à l'aide d'un logiciel de calcul (Excel), ou bien à l'aide d'une calculatrice programmable. Si le résultat obtenu est nul, cela signifie qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes.

### **- Le test de Fisher (ANOVA)**

D'après BIBM@TH en ligne (2022), le test de Ronald Aylmer Fisher, généralement connu sous le nom d'ANOVA (analyse des variances ou encore Analysis of Variance), est un test statistique qui permet de comparer l'espérance mathématique de plusieurs échantillons. En effet, on compare la valeur critique de la loi de Fisher de degré de liberté  $q-1$  et  $N-q$  pour le risque «  $\alpha$  » choisi. Si la variable de test est supérieure à la valeur critique, alors on rejette l'hypothèse suivant laquelle les échantillons ne sont pas homogènes et dans le cas contraire on l'accepte.

### **- Le khi-deux**

Le test d'interdépendance du khi-carré a été développé par Karl Pearson (1936-1957). D'après le glossaire de statistique mis en ligne en (2010), le terme khi-carré recouvre plusieurs tests statistiques :

-le test d'interdépendance du khi-carré dont le rôle est de contrôler l'indépendance de deux caractères dans un échantillon donné.

-le test d'homogénéité du khi-carré qui permet d'affirmer si les échantillons sont issus d'une même population,

-le test d'ajustement ou d'adéquation, dont le rôle est de comparer globalement une distribution théorique à une distribution observée dans un échantillon statistique.

Dans le cadre de cette étude, le test utilisé est le test d'ajustement ou d'adéquation du khi-carré, car il permet de comparer et même d'apprécier l'existence ou non d'un lien entre deux caractères issus d'une même population. Dans ce cas, on distingue deux caractères soit qualitatif soit quantitatif. En effet, si le khi-carré calculé est inférieur au khi-carré théorique, on

dit que les échantillons comparés sont indépendants. Dans le cas contraire (khi-carré calculé supérieur au khi-carré théorique), l'hypothèse de recherche est acceptée.

Le calcul du khi-carré peut se faire par diverses méthodes : soit de manière manuelle, soit à l'aide d'un logiciel de calcul (Excel) ou bien à l'aide d'une calculatrice programmable.

## 8-2 Grille d'analyse du prétest

Cette grille d'analyse (Figure 23) présente les réponses à diverses questions (questions ouvertes ; questions fermées). Chaque numéro porté dans la grille renvoie au numéro de la question du prétest.

Dans la question 1, nous voulons regarder le registre utilisé par un élève. En effet, si l'élève utilise les termes tels que « *visible* », « *grand* » par exemple, nous admettons la réponse comme correcte pour le niveau macroscopique.

Concernant l'exemple associé à la première question, lorsque l'élève propose des réponses comme « solution de sulfate de cuivre », « solide », « liquide »... nous considérons la réponse comme correcte.

Pour la deuxième question, si l'élève propose l'une des réponses ci-après « *petit* », « *invisible* », nous considérons la réponse comme correcte.

Concernant l'exemple associé à la deuxième question, si un élève utilise les réponses telles que : « *ion* », « *molécules* », « *atome* », nous considérons dans ce cas la réponse comme correcte.

Pour la troisième question, si l'élève utilise le terme comme « *représente* », « *signifie* », « *symbole* », nous considérons la réponse comme correcte.

Concernant l'exemple associé à la troisième question, nous regardons les termes liés au niveau symbolique. Si un élève utilise les termes tel que « *équation* », ou s'il écrit une formule chimique, nous considérons la réponse comme correcte.

Pour les questions 4 à 6, nous recherchons les critères macroscopique, microscopique, et symbolique / visualisation.

Pour la quatrième question, si l'élève donne les réponses « *b* » et « *d* » on considère la réponse correcte. Si l'élève donne une seule des deux réponses, on considère la réponse comme incomplète. Nous considérons toutes les autres réponses comme incorrectes.

Concernant la cinquième question, si l'élève donne les réponses « *a* » et « *d* » on considère la réponse correcte. Si l'élève donne une seule des deux réponses, on considère la réponse comme incomplète. Nous considérons toutes les autres réponses comme incorrectes.

Pour la sixième question, si l'élève donne les réponses « *a* » et « *c* » on considère la réponse correcte. Si l'élève donne une seule des deux réponses, on considère la réponse comme incomplète. Nous considérons toutes les autres réponses comme incorrectes.

La septième question est une question ouverte. En effet, elle permet de recueillir les productions des élèves sur le procédé de la saponification. De manière spécifique, il est question de regarder la production de l'élève concernant la saponification. Les termes ayant trait au niveau de savoir sont beaucoup plus explorés. Par exemple lorsque l'élève parle de bécher, pipette spatule, mélanger, chauffage à reflux ... on range ses réponses dans « *empirique* ». Lorsque l'élève parle de triester, acide carboxylique, on range ces réponses dans « *macro* ». Si un élève écrit la formule chimique d'une molécule, on range la réponse dans « *symbole* ». S'il représente la situation par un schéma, on range ce schéma dans « *les modèles* ». Lorsque l'élève parle des atomes, des ions ou encore des molécules..., on range la réponse dans « *micro* ».

Si l'élève utilise à la fois les termes ayant trait au macroscopique et au microscopique, on range la réponse dans « *macro-micro* », s'il utilise les termes ayant des liens avec les quatre niveaux de savoir, on range la réponse dans « *empirique-macro-micro-symbole/visualisation* ». Si la réponse concerne juste le macroscopique et le symbolique ou le microscopique et le symbolique, on les range respectivement dans les catégories « *macro-symbole* » et « *micro-symbole/visualisation* ». On range la réponse dans « *macro-empirique* » lorsqu'elle concerne le niveau macroscopique et le niveau empirique, « *micro-empirique* » pour les niveaux microscopique et empirique, « *symbole/visualisation-empirique* » pour les niveaux symbolique/visualisation et empirique.

#### Grille d'analyse des données issues du prétest

- 1- Proportion des réponses correctes liées à la définition du concept macroscopique (voir si les élèves utilisent des mots comme « couleur », « liquide », « poudre », « solide »...). Écrire quel(s) niveau(x) ils emploient.
- 1-1 Proportion des réponses correctes liés à l'exemple du macroscopique bonne ou mauvaise illustration.
- 2- Proportion des réponses correctes liées à la définition du concept microscopique (voir si les élèves utilisent des mots comme « molécules », « ions »...). Écrire quel(s) niveau(x) ils emploient.
- 2-1 Proportion des réponses correctes liées à l'exemple du microscopique bonne ou mauvaise illustration.
- 3- Proportion des réponses correctes liées à la définition du symbolique Ecrire quel(s) niveau(x) ils emploient.
- 3-1 Proportion des réponses correctes liées à l'exemple du symbolique bonne ou mauvaise illustration.
- 4- Proportion des réponses correctes pour le choix du niveau microscopique réponses correctes : b et d
- 5- Proportion des réponses correctes pour le choix du niveau microscopique réponses correctes : a et d
- 6- Proportion des réponses correctes pour le passage du niveau symbolique au niveau microscopique a et c
- 7- Proportion des réponses correctes liées au procédé expérimental de saponification quels niveaux utilisent-ils.

**Figure 23 : Grille d'analyse des données du prétest**

### 8-3 Grille d'analyse du post test

Comme nous l'avons souligné dans le chapitre 7, les sept premières questions du prétest ont été reprises dans le post test afin de pouvoir évaluer l'évolution des conceptions des élèves avant et après enseignement (comparaison entre les analyses a priori et a posteriori qui auront lieu dans la cinquième partie de cette recherche). La Figure 24 représente la grille d'analyse du post test.

#### Grille d'analyse des données issues du post test

- 1- Proportion des réponses correctes liées à la définition du concept macroscopique (voir si les élèves utilisent des mots comme « couleur », « liquide », « poudre », « solide »...) Ecrire quel(s) niveau(x) ils emploient
- 1-1 Proportion des réponses correctes liés à l'exemple du macroscopique bonne ou mauvaise illustration
- 2- Proportion des réponses correctes liées à la définition du concept microscopique (voir si les élèves utilisent des mots comme « molécules », « ions »...) Ecrire quel(s) niveau(x) ils emploient
- 2-1 Proportion des réponses correctes liées à l'exemple du microscopique bonne ou mauvaise illustration

- 3- Proportion des réponses correctes liées à la définition du symbolique. Ecrire quel(s) niveau(x) ils emploient
- 3-1 Proportion des réponses correctes liées à l'exemple du symbolique bonne ou mauvaise illustration
- 4- Proportion des réponses correctes pour le choix du niveau microscopique réponses correctes : b et d
- 5- Proportion des réponses correctes pour le choix du niveau microscopique réponses correctes : a et d
- 6- Proportion des réponses pour le passage du niveau symbolique au niveau microscopique a et c
- 7- Proportion des réponses liées au procédé expérimental de saponification quels niveaux utilisent-ils
- 8- Proportion des réponses liées au procédé expérimental de saponification quels niveaux utilisent-ils
- 9- Proportion des réponses liées au procédé expérimental de saponification quels niveaux utilisent-ils.
- 10- Proportion des réponses liées au procédé expérimental de saponification quels niveaux utilisent-ils. Font-ils appel à la modélisation (équation bilan) ?
- 11- Proportion des réponses liées au procédé expérimental de saponification quels niveaux utilisent-ils. Font-ils appel à la modélisation (schéma) ?

#### **Figure 24 : Grille d'analyse du post test**

En ce qui concerne les éléments numéro 8 et 9 de la grille, on s'intéresse à la description du procédé expérimental de la saponification. Les niveaux macroscopique et empirique sont beaucoup plus recherchés dans les propos des élèves.

Pour le numéro 10 de la grille du post test, on regarde dans un premier temps le niveau de savoir utilisé, dans un second temps, s'il modélise la réaction chimique par une équation bilan. Le niveau symbolique /visualisation est attendu de façon majoritaire en plus des autres niveaux qui seront employés.

Pour le numéro 11, on regarde si l'élève est capable de reproduire l'expérience par un schéma que nous appelons modèle dans ce cas. Une attention particulière est faite d'une part sur le niveau de savoir véhiculé par son langage, et d'autre part sur le modèle qu'ils réalisent.

## 8-4 Grille d'analyse du questionnaire pour enseignant

La grille relative au questionnaire pour enseignant (Figure 22) a été présentée dans le chapitre précédent. Nous rappelons juste les concepts clés qui seront recherchés dans l'analyse des différentes productions recueillies. En effet, comme précisé précédemment, on s'intéresse de manière générale dans un premier temps au niveau de savoir utilisé. On range les concepts macroscopiques dans « macro », les concepts microscopiques dans « micro » et les concepts symboliques dans « symbole. » Si un élève fait un schéma, ou une équation bilan, on range cette réponse dans « modèle ». Dans un second temps on s'intéresse au type de réponse proposée « correcte » ou « incorrecte ».

### **GRILLE D'ANALYSE DES CONCEPTIONS DES PRATICIENS (SUR LE MACROSCOPIQUE, LE MICROSCOPIQUE ET LE SYMBOLIQUE)**

- 1- Proportion des réponses correctes liées à la définition du concept macroscopique (voir s'ils utilisent des mots comme « couleur », « liquide », « poudre », « solide »...). Écrire quel(s) niveau(x) ils emploient.
- 2- Proportion des réponses correctes liées à la définition du concept microscopique (voir s'ils utilisent des mots comme « molécules », « ions »...). Écrire quel(s) niveau(x) ils emploient.
- 3- Proportion des réponses correctes liées à la définition du symbolique. Écrire quel(s) niveau(x) ils emploient.
- 4- Écrire le type de réponses proposée (On précisera les réponses correctes) à vérifier avec ce qui est dit dans le programme, est-ce dit ou pas.
- 5- Écrire le type de réponses proposée (regarder la proportion qui les utilisent et ceux qui ne l'utilisent pas).
- 5-1 -Écrire le type de réponses proposées (On précisera les réponses correctes).
- 5-2 Écrire le type de réponses proposées (On précisera les réponses correctes).
- 6- Critère macroscopique, microscopique et symbolique.
- 7- Écrire le type de réponses proposées.
- 8- Écrire le type de réponses proposée (regarder la proportion qui les utilisent et ceux qui ne l'utilisent pas).
- 8-1 Écrire le type de réponses proposée (On précisera les réponses correctes) (motivation / mieux comprendre).

- |   |
|---|
| <p>8-2 Écrire le type de réponses proposées (On précisera les réponses correctes).</p> <p>9- Écrire le type de réponses proposée (regarder la proportion qui les utilisent et ceux qui ne l'utilisent pas).</p> <p>9-1 Écrire le type de réponses proposées (On précisera les réponses correctes).</p> <p>9-2 Écrire le type de réponses proposées (On précisera les réponses correctes).</p> |
|---|

**Figure 25 : Grille d'analyse des conceptions des praticiens (sur l'empirique, le macroscopique, le microscopique et le symbolique /visualisation)**

### 8-5 Conclusion

Ce chapitre a porté sur la méthodologie de traitement de données. L'étude des analyses qualitatives et quantitatives a permis de faire des clarifications au niveau de la démarche utilisée pour le traitement des données. Comme précisé dans le chapitre, les données relevant de l'analyse qualitative seront codées d'une seule manière : codage fermé, puisque la grille de codage est connue à l'avance. Comme exemple de grille de codage, nous avons les catégories de réponses ci-après : empiriques, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation. Lorsque l'élève emploie deux niveaux de savoir au moins, on considère la réponse comme correcte et incorrecte dans le cas contraire. Lorsque l'élève donne toutes les bonnes réponses des questions à choix multiples on considère la réponse comme correcte et incorrecte dans le cas contraire. Les proportions de réponses correctes et incorrectes sont évaluées par la suite. Ces proportions seront employées au cours des analyses *a priori* et *a posteriori*. Trois tests statistiques ont été utilisés : le test t de student et le test de Fischer pour vérifier l'homogénéité des groupes constitués, et le test du khi-deux pour vérifier l'existence ou non du lien entre le dispositif d'expérimentation et la distinction des niveaux de savoirs.

Les trois chapitres étudiés ont permis d'explicitier la méthodologie de la recherche, la méthodologie de collecte et d'analyse des données recueillies. La quatrième partie présente les analyses préalables ainsi que les analyses *a priori*.

## **QUATRIÈME PARTIE : ANALYSES PRÉALABLES ET ANALYSES *A PRIORI***

Cette partie comporte trois chapitres :

- un premier chapitre qui présente les analyses préalables (analyses de programmes),
- un deuxième chapitre qui indique ce que pensent les enseignants de la place des niveaux de savoir dans les programmes et dans l'enseignement,
- un troisième chapitre qui présente les analyses *a priori* pour chacune des classes constituées.

# **CHAPITRE 9 : LES ENQUÊTES PRÉALABLES PORTANT SUR LE PROGRAMME DE CHIMIE DE LA SECTION FRANCOPHONE DU CAMEROUN**

Ce chapitre porte sur l'analyse des programmes de chimie de l'enseignement secondaire francophone au Cameroun. La formulation des concepts liés aux niveaux de savoir constitue le principal centre d'intérêt de cette recherche. Nous regarderons par exemple la formulation des concepts chimiques tels que les atomes, les molécules, et leurs symboles. L'étude des programmes permettra de voir la place qu'occupent les niveaux de savoir dans ces derniers, la spécification des savoirs en termes de niveaux, sans oublier l'usage ou non des modèles. Les programmes sont présentés progressivement, puis analysés directement, module après module. Le but de cette enquête préalable sur les programmes est d'essayer de répondre à la question de recherche suivante : quelles sont les origines des difficultés rencontrées par les élèves au cours de la circulation entre les niveaux de savoir ? De manière spécifique, nous nous intéressons à la structuration des concepts, empirique, macroscopique, microscopique et symbolique / visualisation dans les différents programmes d'étude du sous-système francophone du Cameroun.

## **9-1 Le programme du sous cycle d'observation 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup>**

Le programme du cycle d'observation 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> est intitulé « sciences et technologie ». Il est composé des notions de sciences de la vie et de la terre, ainsi que celles de chimie. Les concepteurs du programme pensent qu'il est difficile de dissocier les apprentissages de chimie et de SVT car pour eux, ces deux sciences se présentent comme un champ d'expérimentations et de données théoriques issu des mathématiques et de l'informatique. Nous faisons maintenant une analyse plus fine.

### **9-1-1 Présentation du programme d'étude du sous cycle d'observation 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup>**

Le programme d'étude du sous cycle d'observation (classes de 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup>) se structure en termes de modules associés à une durée bien déterminée telle qu'indiquée dans la Figure 26. On y retrouve par exemple pour ce qui est de la chimie, comme modules : « la matière : ses propriétés et ses transformations », « l'énergie : ses sources et sa gestion », « l'éducation à

l'environnement et au développement durable » et la « technologie ». Quels sont les objectifs de ces programmes ?

CLASSES	MODULES		
	N°	Intitulé	DURÉE
6 <sup>ème</sup>	1	Le monde vivant	10 heures
	2	La matière : ses propriétés et ses transformations	04 heures
	3	L'énergie : ses sources et sa gestion.	14 heures
	4	L'éducation à la santé	05,5 heures
	5	L'éducation à l'environnement et au développement durable	06,5 heures
	6	Technologie	10 heures
5 <sup>ème</sup>	1	Le monde vivant	12 heures
	2	La matière : ses propriétés et ses transformations	02 heures
	3	L'énergie : ses sources et sa gestion.	03 heures
	4	L'éducation à la santé	07 heures
	5	L'éducation à l'environnement et au développement durable	07 heures
	6	Technologie	19 heures

**Figure 26 : Titre des modules en fonction des classes et leurs durées mentionnées dans le programme officiel du sous cycle d'observation 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> en vigueur au Cameroun depuis 2014 (p. 14)**

### 9-1-2 Objectifs du programme du sous cycle d'observation 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup>

« Le but principal du programme est d'aider les apprenants à développer des compétences leurs permettant de :

- Communiquer à l'écrit et à l'oral sur les phénomènes scientifiques de leurs environnements ;
- De comprendre et d'exploiter des phénomènes naturels ;
- De résoudre les problèmes que ces derniers posent dans leurs domaines de vie ;
- De gérer durablement leurs environnements ;
- De sauvegarder leur santé ainsi que celle de leur entourage ;
- De mettre en œuvre des processus d'acquisition des connaissances ;
- De s'approprier la démarche scientifique ;
- De lire leur environnement. » (Cameroun, Ministère des enseignements secondaires, 2014, p. 14.)

Par ailleurs, ce programme contribue aussi à :

- « - Faire acquérir aux apprenants une culture scientifique et technologique ;
- Faire acquérir aux apprenants des connaissances leur permettant d'expliquer des phénomènes naturels ainsi que les lois qui les régissent ;
- Donner des habiletés aux apprenants pour l'utilisation et la mise en œuvre des instruments scientifiques et technologiques ;
- Développer leur capacité d'observation, d'intégration, de communication, de créativité et d'autonomie ;
- Susciter chez l'apprenant l'esprit de la recherche et du travail en équipe. ». (Cameroun, Ministère des enseignements secondaires, 2014, p. 15.)

Contrairement aux autres modules, le module 2 du programme, appelé « la matière », comporte bien les notions de chimie : il constituera le centre de notre recherche pour ce qui est du programme du sous cycle d'observation 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup>.

### **9-1-3 Présentation du module 2 du programme du sous cycle d'observation 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> : la matière ses propriétés et ses transformations**

Ce module est constitué de deux grandes parties :

- les propriétés et les caractéristiques de la matière ;
- les transformations de la matière ;

Les finalités de ce module sont les suivantes :

- « - Améliorer progressivement la lisibilité et l'éveil progressif de l'apprenant relativement à son environnement immédiat ;
- L'initiation des élèves aux relations utiles de la matière ;
- L'approfondissement des acquis de l'école primaire ».

Le module présente les divisions suivantes (Figure 27) :

- « Un cadre de contextualisation qui comporte les familles de situations et les exemples de situations ;

- Un agir compétent qui comporte les actions et les catégories d'action ;
- Les ressources, qui comportent les savoirs, les savoirs faire, les savoirs être, autres ressources. ». (Cameroun, Ministère des enseignements secondaires, 2014, p. 21.)

CADRE DE CONTEXTUALISATION		AGIR COMPÉTENT		RESSOURCES			
Familles de situations	Exemples de Situations	Catégories d'actions	Actions	Savoirs	Savoir faire	Savoir-être	Autres ressources
Utilisation des produits et biens de consommation usuels.	Achat et utilisation de biens usuels de consommation.	Détermination des caractéristiques physiques et chimiques d'un corps. <b>(Classe de 6<sup>e</sup>)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lire et respecter les indications de conservation d'un produit alimentaire</li> <li>- Utiliser une balance ;</li> <li>- Mesurer et calculer le volume d'un corps donné ;</li> <li>- Utiliser le papier tournesol ou le papier pH</li> <li>- Préparer une solution de concentration massique donnée.</li> </ul>	<b>1- Les propriétés et les caractéristiques de la matière</b> 1.1 États physiques, formes, perméabilité, imperméabilité, solubilité, acidité, basicité ; 1.2 Température et état de la matière ; 1.3 Volume, masse, masse volumique, densité, concentration massique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesurage et calcul de la masse et/ou du volume d'un corps ;</li> <li>- Détermination de la nature acide ou basique d'un liquide.</li> </ul>	Gestion judicieuse et responsable des produits et des biens usuels de consommation.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balance,</li> <li>- Mètre,</li> <li>- Pèse-personne,</li> <li>- Papier tournesol,</li> <li>- Papier pH,</li> <li>- Tamis,</li> <li>- Verrerie (bêcher, fiole jaugée, éprouvette graduée...</li> </ul>
Utilisation des produits et biens de consommation usuels.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Besoin d'un constituant contenu dans un mélange homogène ou hétérogène ;</li> <li>-Communication et information sur des biens de consommation</li> </ul>	Lecture et exploitation des inscriptions sur des produits de consommation <b>(Classe de 5<sup>e</sup>)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interpréter et exploiter une notice explicative</li> <li>- Lire et interpréter un pictogramme</li> </ul>	<b>2- Les transformations physiques de la matière</b> 2.1 Transformations physiques de l'eau : vaporisation, condensation, solidification, liquéfaction, sublimation. Constance de la température lors du changement d'état. 2.2 Mélanges et corps purs : l'eau, l'air, les solutions (soluté, solvant, concentration).	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Séparation de mélanges hétérogènes et homogènes : décantation, distillation, tamisage, filtration, flottage</li> <li>-Mise en évidence de la constance de la température lors de la fusion de la glace.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prudence face à un produit dont la qualité est douteuse.</li> <li>- Réflète à lire les étiquettes et les notices des biens de consommation avant leur utilisation.</li> </ul>	-Kit d'analyse de l'eau.

**Figure 27 : Module 2 du programme de chimie de la classe de 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> en vigueur depuis 2014 (p. 22)**

### 9-1-4 Analyse du programme de chimie pour la classe de 6<sup>e</sup> (module 2)

Les concepts centraux de ce programme qui se déclinent en termes de savoirs sont :

- Les états physiques, formes, perméabilité, imperméabilité, solubilité, acidité, basicité ;
- La température et les états de la matière ;
- Le volume, la masse, la masse volumique, la densité, et la concentration molaire.

Lorsqu'on regarde les ressources disponibles pour l'apprentissage de ces concepts centraux, on se rend compte qu'ils sont essentiellement empiriques (balance, tamis...) et macroscopiques (liquide, corps purs...) (Figure 27). De plus, aucune démarche n'est proposée par le programme pour l'apprentissage des concepts. Par ailleurs, aucune spécification des savoirs n'est faite en termes de niveaux (empirique, macro, micro, symbole/visualisation). Cette absence de spécification des niveaux de savoir dans le programme laisse penser à sa non prise en compte dans l'apprentissage. En effet, pour ce qui concerne ces savoirs, ils sont en général macroscopiques et empiriques. Cependant, l'absence des niveaux microscopique et symbolique/visualisation n'est pas sans danger pour l'apprentissage : l'élève ne peut ni expliquer ni représenter les phénomènes. De plus, il est surprenant de constater une absence de découpage séquentiel des notions. Le programme prévoit un module de 4 heures contenant des savoirs sans spécification du temps requis pour chaque savoir constituant le module. Par ailleurs, lorsqu'on regarde les contenus du programme, cela laisse penser à une approche expérimentale. On trouve de nombreuses phrases faisant appel à la manipulation, par exemple, le programme propose de « *préparer une solution de concentration massique donnée* » (Cameroun, Ministère des enseignements secondaires 2014, p. 22). Le programme de chimie de la classe de 6<sup>e</sup> est basé sur les niveaux macroscopique et empirique dans l'ensemble.

### **9-1-5 Analyse du programme de chimie pour la classe de 5<sup>e</sup> (module 2)**

Les concepts centraux qui se déclinent en termes de savoir sont :

- les transformations physiques de l'eau qui comportent notamment la vaporisation, la condensation, la liquéfaction, la solidification, la sublimation, et la constante de température lors d'un changement d'état ;
- les mélanges et corps purs comportant notamment l'eau, l'air, les solutions, solutés, concentration ;
- la lecture des étiquettes sur les produits avant leurs utilisations ;
- la séparation des mélanges homogènes et hétérogènes par décantation, filtration, distillation, tamisage, flottage.

Le programme de chimie de la classe de 5<sup>e</sup> comme celui de la classe de 6<sup>e</sup> *a priori*, semble être à dominante macroscopique et empirique, car dans le programme, on se limite à l'aspect physique de la matière et ce qui relève du visible. Cependant, lorsqu'on regarde plus finement les notions telles que corps purs et mélange, cela laisse penser à une approche

noms /formules chimiques, puisqu'il est question dans ce module de lire et d'exploiter les inscriptions qui sont portées sur les produits de consommation. Néanmoins, aucune précision n'est faite dans le programme concernant l'approche noms /formules chimiques. Une illustration concernant le concept de corps pur formulé dans le programme avec pour exemple « l'eau », est porteur de nombreuses informations qui ne sont pas prises en compte dans le programme. Pour Canac (2017), ce concept d'« eau » renvoie à la fois à un mot du langage courant, à un mélange (atomes d'hydrogène et atomes d'oxygène) au lieu d'un corps pur, et, au nom scientifique de l'espèce chimique (la molécule d'eau). Un autre constat concerne l'air, qui est constitué majoritairement du dioxygène et du diazote, (nous ne parlerons pas des autres gaz de faible proportion). Ces deux derniers gaz sont cités par leurs noms scientifiques, pourtant aucune prescription du programme n'est faite à cet effet : l'enseignant est-il libre d'interpréter le programme à sa convenance puisqu'il n'existe pas de tutorat pouvant faciliter l'utilisation du programme ? Comment l'enseignant mettra-t-il en évidence les constituants de l'air sans parler du dioxygène et du diazote par exemple qui sont employés au niveau microscopique ? Ces différentes difficultés que rencontre l'enseignant dans l'interprétation du programme peuvent-elles entrainer l'élève dans un apprentissage par la mémorisation ? Par ailleurs, le programme ne spécifie pas les concepts chimiques à utiliser par exemple, pour le cas des mélanges homogènes et hétérogènes, aucune approche empirique, macroscopique ni microscopique ou encore symbolique/visualisation n'est précisée dans le programme. Pourtant, concernant les mélanges homogènes, les constituants ne sont pas distinguables à l'œil nu contrairement aux mélanges hétérogènes. De plus, aucune recommandation n'est faite quant à l'utilisation des modèles. Une analyse du programme de 4<sup>e</sup> apporterait peut-être des éclaircissements aux problèmes soulevés.

## **9-2 Le programme du cycle d'observation 4<sup>e</sup> /3<sup>e</sup> : présentation**

Ce programme comporte des objectifs similaires à celui de la classe de 6<sup>e</sup>. Nous le décrivons. Il se structure en termes de module, avec des précisions sur la durée d'étude pour chaque module (Figure 28).

CLASSES	MODULES		
	N°	Intitulé	DURÉE
4 <sup>ème</sup>	1	La matière : ses propriétés et ses transformations	18 heures
	2	Actions mécaniques et énergie électrique	22 heures
	3	Chimie et protection de l'environnement	16 heures
	4	Projets et éléments d'ingénierie	19 heures
3 <sup>ème</sup>	1	La matière : ses propriétés et ses transformations	19 heures
	2	Actions mécaniques et énergie électrique	22 heures
	3	Chimie et protection de l'environnement	13 heures
	4	Projets et éléments d'ingénierie	21 heures

**Figure 28 : Modules et durée extraits du programme de sciences physiques 4<sup>e</sup>/3<sup>e</sup> en vigueur depuis 2014 (p. 16)**

Les figures 29 et 30 présentent les différents modules munis des catégories d'actions avec des durées précises.

TITRES DES MODULES	CATEGORIES D'ACTIONS	DUREE (heures)
La matière : ses propriétés et ses transformations	Détermination des propriétés caractéristiques de la matière	09
	Réalisation des transformations chimiques	09
Actions mécaniques et énergie électrique	Détermination des caractéristiques des actions mécaniques	09
	Production de l'énergie électrique	04
	Utilisation de l'énergie électrique	09
Chimie et protection de l'environnement	Lutte contre la pollution de l'air	05
	Lutte contre la pollution des sols	05
	Lutte contre la pollution de l'eau	06
Projets et éléments d'ingénierie	Réalisation d'un projet technique simple (Fabrication d'outils simples).	19

**Figure 29 : Modules, catégories d'actions et durée issus du programme de la classe de 4<sup>e</sup> en vigueur depuis 2014 (p. 18)**

TITRES DES MODULES	CATEGORIES D'ACTIONS	DUREE (heures)
La matière : ses propriétés et ses transformations	Détermination des propriétés caractéristiques de la matière	09
	Réalisation des transformations chimiques	10
Actions mécaniques et énergie électrique	Applications des actions mécaniques	07
	Production de l'énergie électrique	04
	Utilisation de l'énergie électrique	11
Chimie et protection de l'environnement	Gestion et utilisation des produits industriels	13
Projets et éléments d'ingénierie	Réalisation d'un projet technique simple (Fabrication d'outils simples).	15
	Maintenance de systèmes mécaniques simples	06

**Figure 30 : Modules, catégories d'actions et durée issus du programme de la classe de 3<sup>e</sup> en vigueur depuis 2014 (p. 18)**

Un module est commun à un cycle, il débute dans la classe antérieure et s'achève dans la classe supérieure de manière plus approfondie : en effet dans la classe antérieure le module se limite à une introduction générale. La figure 31 présente le profil d'un élève au terme de la classe de 3<sup>e</sup>.

OBJECTIFS INTÉGRATEURS, COMPÉTENCES	HABILITÉS INTELLECTUELLES	ATTITUDES	CONCEPTS	ÉLÉMENTS MÉTHODOLOGIQUES
Capacité de résoudre des problèmes de complexité définie dans divers champs scientifiques et ce, dans une perspective interdisciplinaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>analyse et synthèse</li> <li>créativité</li> <li>sens de l'observation</li> <li>minutie et précision</li> <li>formulation d'hypothèses vérifiables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>curiosité</li> <li>objectivité</li> <li>autonomie</li> <li>rigueur</li> <li>initiative</li> <li>attitude propice à la recherche</li> <li>persévérance</li> <li>esprit critique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>différentes stratégies de résolution de problèmes</li> <li>liste des concepts disciplinaires et interdisciplinaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>m<sup>n</sup> méthodes de collecte et de traitement des données</li> <li>méthodes de preuves</li> <li>induction</li> <li>déduction</li> <li>modélisation</li> </ul>
Capacité d'abstraction et de conceptualisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>habileté à la schématisation</li> <li>synthèse</li> <li>établissement de liens</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>pensée créatrice</li> <li>habileté manuelle</li> <li>méthode dans l'action</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>principes et justification de la schématisation ou de l'abstraction</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>techniques et outils de schématisation et de représentations graphiques</li> </ul>
Capacité de prendre en charge les développements personnel et interpersonnel.	<ul style="list-style-type: none"> <li>métacognition</li> <li>analyse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>autonomie</li> <li>sens des responsabilités</li> <li>engagement</li> <li>curiosité intellectuelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>culture générale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>méthodologie du travail intellectuel</li> </ul>
Capacité de travailler en équipe et sur des projets	<ul style="list-style-type: none"> <li>argumentation</li> <li>leadership</li> <li>entreprenariat</li> <li>élaboration de projets</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ouverture d'esprit</li> <li>écoute</li> <li>tolérance</li> <li>confiance en soi et en l'autre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>équipe pluridisciplinaire</li> <li>interrelations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>règles du travail en équipe</li> <li>règles de consensus</li> <li>interrelations</li> </ul>
Capacité de démontrer des	<ul style="list-style-type: none"> <li>prise en charge complète des tâches</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>honnêteté</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>concepts d'éthique et de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>application des normes de</li> </ul>

Programme de Physique - Chimie - Technologie de l'Enseignement Secondaire Général classes de 4<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup>

Page 19 sur 57

OBJECTIFS INTÉGRATEURS, COMPÉTENCES	HABILITÉS INTELLECTUELLES	ATTITUDES	CONCEPTS	ÉLÉMENTS MÉTHODOLOGIQUES
comportements propres à l'esprit et au travail scientifique	<ul style="list-style-type: none"> <li>reliées à sa situation</li> <li>précision et minutie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>intégrité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>morale disciplinaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>sécurité</li> </ul>
Capacité de faire une communication scientifique orale et écrite	<ul style="list-style-type: none"> <li>expression verbale et écrite d'un niveau acceptable</li> <li>utilisation suffisante de la langue seconde</li> <li>maîtrise du langage mathématique</li> <li>utilisation de base de certains logiciels.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>attention à soi et aux autres</li> <li>souci de clarification, ordonné et systématique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>principes de la communication scientifique</li> <li>terminologie propre au domaine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>techniques de rédaction de rapports d'activités expérimentales ;</li> <li>techniques et procédés de production de différents types de rapports.</li> </ul>

**Figure 31 : Profil d'un élève de classe de 3<sup>e</sup> d'après le programme de sciences physiques en vigueur depuis 2014 (p. 19)**

La figure 31 présente le profil d'un élève au terme de la classe de 3<sup>e</sup>. Il comporte :

- les objectifs intégrateurs ainsi que les compétences attendues ;
- les habiletés intellectuelles ;
- les attitudes ;
- les concepts ;
- les éléments méthodologiques.

Seuls les concepts ayant trait à la chimie seront abordés. Le programme de chimie spécifique à la classe de 4<sup>e</sup> sera présenté puis analysé. Il en sera de même pour la classe de 3<sup>e</sup>.

### **9-2-1 Présentation du module 1 du programme de chimie de la classe de 4<sup>e</sup>**

Le programme de chimie de la classe de 4<sup>e</sup> au Cameroun, comme la plupart des autres cycles francophones, se structure de la même manière (cadre de contextualisation, agir compétent, ressources). Les différences se font au niveau des contenus. Trois principaux savoirs sont annoncés (Figure 32) : les propriétés caractéristiques de la matière, la notion de réaction chimique et enfin, la notion d'élément chimique.

- En ce qui concerne les caractéristiques de la matière, il est question de regarder les changements d'états (repérer une température), d'étudier les propriétés des conducteurs électriques *via* une expérience.
- En ce qui concerne la réaction chimique, il est question de la définir, de réaliser la combustion d'une bougie ainsi que celle du soufre. Les approches expérimentales ainsi que de modélisation sont fortement recommandées à cet effet.
- En ce qui concerne les éléments chimiques, il est question dans un premier temps de distinguer un corps pur simple d'un corps pur composé, dans un second temps de connaître les symboles des 20 premiers éléments chimiques en s'appuyant sur le tableau de classification périodique des éléments chimiques.

CADRE DE CONTEXTUALISATION		AGIR COMPETENT		RESSOURCES			
Famille de situations	Exemples de Situations	Catégories d'actions	Exemples d'actions	Savoirs	Savoir-faire	Savoir-être	Autres ressources
Utilisation, production et conservation de biens usuels de consommation	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Utilisation de biens usuels de consommation</li> <li>-Production de biens usuels de consommation</li> <li>-Conservation de biens usuels de consommation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Détermination des propriétés caractéristiques de la matière</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiliser des matériaux au quotidien</li> <li>- Communiquer et informer sur la matière</li> </ul>	<p><b>1-Quelques propriétés caractéristiques de la matière</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Température de changement d'état;</li> <li>- conductibilité électrique, dureté,</li> <li>-magnétisme (matériaux magnétiques)</li> </ul> <p><b>2- Les aimants, le champ magnétique terrestre</b></p> <p>2.1 Les pôles d'un aimant</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Repérer une température ;</li> <li>-Réaliser une ou deux expériences pour identifier le caractère conducteur ou non d'un matériau et le caractère magnétique ou non d'un matériau ;</li> <li>-Identifier les matériaux utilisés au quotidien à partir de leurs propriétés</li> <li>- identifier les pôles d'un aimant ;</li> <li>- interpréter les interactions entre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La curiosité et le sens de l'observation ;</li> <li>- Le respect des avis des autres ;</li> <li>- L'ouverture d'esprit ;</li> <li>- L'esprit d'équipe, de coopération ;</li> <li>- Prise de décision et</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aimants (droit, en fer à cheval) ;</li> <li>-Limaille de fer ou poudre de fer ;</li> <li>-Objets métalliques ;</li> <li>-Objets en matériau non ferromagnétique ;</li> <li>- Boussole ;</li> <li>- Thermomètre ;</li> </ul>

Programme de Physique - Chimie - Technologie de l'Enseignement Secondaire Général classes de 4<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup>

Page 22 sur 57

CADRE DE CONTEXTUALISATION		AGIR COMPETENT		RESSOURCES			
Famille de situations	Exemples de Situations	Catégories d'actions	Exemples d'actions	Savoirs	Savoir-faire	Savoir-être	Autres ressources
		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Réalisation des transformations chimiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Interpréter les combustions grâce aux modèles moléculaires</li> <li>-réaliser des combustions dans l'air</li> <li>- Identifier les produits de réaction chimique (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, C) à partir des résultats des tests</li> <li>- Utiliser une équation chimique</li> <li>- Représenter les éléments par leurs</li> </ul>	<p>2.2 Le champ magnétique terrestre</p> <p>2.3 Quelques usages techniques des aimants permanents et des électroaimants ;</p> <p>2.4 Utilisation d'une boussole</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>les pôles des aimants ;</li> <li>- interpréter le comportement d'une aiguille aimantée ;</li> <li>- utiliser une boussole pour s'orienter.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>esprit critique ;</li> <li>-Pensée créatrice ;</li> <li>- Raisonnement logique ;</li> <li>-Méthode dans l'action ;</li> <li>Développement de l'habileté manuelle ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tableau des constantes physiques.</li> <li>- Modèles moléculaires,</li> <li>- Bougies,</li> <li>- Allumettes,</li> <li>- Eau de chaux,</li> <li>- Papier,</li> <li>- Soufre,</li> <li>- Solution de KMnO<sub>4</sub>,</li> <li>- Tableau périodique des éléments,</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Détermination des caractéristiques physiques et chimiques d'un corps</li> </ul>		<p><b>3-Notion de réaction chimique</b></p> <p>3.1 Définition : réaction chimique, réactif, produit, réaction exothermique ;</p> <p>3.2 Transformation chimique (introduction sommaire de la notion d'atome .....)</p> <p>3.2.1. combustion d'une bougie</p> <p>3.2.2. combustion du soufre.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaliser des modèles moléculaires pour les réactifs et les produits des combustions du carbone, butane, méthane (aspect qualitatif et aspect quantitatif) ;</li> <li>- Réaliser, décrire et schématiser la combustion d'une bougie, du butane et du méthane dans l'air ;</li> <li>- Ecrire les équations littérales de réaction pour les combustions du carbone, butane et méthane ;</li> <li>- Faire les tests pour l'identification du dioxyde de carbone et du dioxyde de soufre</li> <li>-Différencier un corps pur simple</li> </ul>		
				<p><b>4-Notion d'élément chimique</b></p>			

Programme de Physique - Chimie - Technologie de l'Enseignement Secondaire Général classes de 4<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup>

Page 23 sur 57

CADRE DE CONTEXTUALISATION		AGIR COMPETENT		RESSOURCES			
Famille de situations	Exemples de Situations	Catégories d'actions	Exemples d'actions	Savoirs	Savoir-faire	Savoir-être	Autres ressources
			<ul style="list-style-type: none"> <li>symboles ;</li> <li>- Utiliser la classification périodique des éléments</li> </ul>	<p>4.1. Définition et quelques exemples : corps purs simples, corps purs composés</p> <p>4.2. Symboles des 20 premiers éléments</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>d'un corps pur composé ;</li> <li>- Représenter les 20 premiers éléments par leurs symboles</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verre (bêcher, fiole jaugée, éprouvette graduée .....)</li> </ul>

Figure 32 : Extrait du module 1 du programme de chimie de la classe de 4<sup>e</sup> francophone en vigueur depuis 2014 (p. 23)

## 9-2-2 Analyse du module 1 du programme de chimie de la classe de 4<sup>e</sup> francophone

Le programme de chimie de la classe de 4<sup>e</sup> se situe dans la continuité du programme du sous-cycle d'observation 6<sup>e</sup>/5<sup>e</sup>. De la classe de 6<sup>e</sup> à la classe de 4<sup>e</sup>, on étudie par exemple les propriétés caractéristiques de la matière. De plus, la distinction entre corps purs et mélanges est introduite depuis la classe de 5<sup>e</sup> et se poursuit en classe de 4<sup>e</sup> : on distingue les corps purs simples des corps purs composés cette fois. La question qu'on se pose est celle de savoir comment différencier un corps pur simple d'un corps pur composé sans étude préalable des atomes et molécules. De la même manière, l'étude de la réaction chimique s'ensuit sans distinction entre transformations physique et chimique. Pourtant cette absence de distinction constitue un véritable obstacle. Les mots atomes, molécules ne prédominent nullement dans le programme : ils sont rarement évoqués. Mais, le programme parle des exemples de produits de réaction chimique (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ...) sans toutefois faire allusion au concept de molécule. Le programme recommande l'usage du modèle moléculaire concernant les réactifs ainsi que les produits de la combustion du méthane. Une bonne maîtrise des modèles moléculaires par l'élève nécessite au préalable une maîtrise des modèles atomiques. Or, seulement la représentation des vingt premiers éléments par leurs symboles est mentionnée dans le programme, sans mention de leur structure. Un autre constat concerne l'étude de la réaction chimique qui intervient avant l'étude des symboles des 20 premiers éléments chimiques : cette approche est quasiment contradictoire. Comment l'élève peut-il représenter les produits ainsi que les réactifs sans apprentissage préalable des symboles des atomes ? On suppose que les fiches de progressions qui contiennent les découpages séquentiels propres à chaque établissement d'enseignement secondaire en tiendront compte. Ce qui est positif dans ce programme est la présence des concepts ayant trait au niveau empirique (becher...), macroscopique (corps pur simple), microscopique (atome...) et au symbolique/visualisation (équation bilan...) : une structuration macroscopique et empirique domine. L'aspect microscopique de la chimie n'est quasiment pas pris en compte : les élèves dans ce cas doivent observer, représenter sans explication. Comme dans le cas des programmes de 6<sup>e</sup>/5<sup>e</sup>, les termes empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation ne sont pas mentionnés dans ce programme. Par ailleurs, on note une avancée grâce à l'introduction et l'usage des modèles au cours de l'apprentissage. Ces modèles permettent d'expliquer qualitativement et quantitativement la réaction chimique (Figure 32). L'approche expérimentale est aussi recommandée comme dans le cas du cycle précédent : elle permet à l'élève d'enraciner ses connaissances sur le niveau macroscopique bien qu'ils ne

savent pas qu'ils se situent dans ce niveau. Le module 3 de ce programme (Figure 33) n'est pas une exception à ces constats. On regardera plus loin si cette avancée se concrétise davantage avec l'évolution du niveau d'étude : 3<sup>e</sup>, 2<sup>nd</sup>e, 1<sup>ère</sup> et Terminales scientifiques.

Cadre de contextualisation		Agir compétent		Ressources			
Famille de situations	Exemples de situations	Catégorie d'actions	Exemples d'actions	Savoirs	Savoir-faire	Savoir-être	Autres ressources
Utilisation des produits chimiques et protection de l'environnement	Utilisation de nombreux produits issus de l'industrie chimique	Détermination de quelques champs d'application de la chimie au quotidien	Établir le lien entre quelques produits chimiques et leurs usages spécifiques	1-Définition: chimie, produits chimiques ; Exemples de produits chimiques de la vie courante et leurs domaines d'utilisation.	-Identifier les produits chimiques contenus dans un produit de consommation ; -Identifier les industries chimiques locales.	Développer : - l'esprit de Curiosité - le sens élevé de discernement et d'observation -une grande ouverture d'esprit	Industries chimiques de la localité ; -Étiquettes des produits d'entretien des détergents et pharmaceutiques

Programme de Physique - Chimie - Technologie de l'Enseignement Secondaire Général classes de 4<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup>

Page 29 sur 57

Cadre de contextualisation		Agir compétent		Ressources			
Famille de situations	Exemples de situations	Catégorie d'actions	Exemples d'actions	Savoirs	Savoir-faire	Savoir-être	Autres ressources
	La pollution de l'environnement	-Lutte contre la pollution de l'air  -Lutte contre la pollution des sols	Rechercher quelques usages des produits chimiques (engrais, pétroles, produits pharmaceutiques) et les effets néfastes de ces usages.  Rechercher les moyens de lutte anti-pollution	2. Les engrais 2.1. Définition: Fertilisation, élément fertilisant, engrais ; 2.2. Les éléments fertilisants et leur rôle 2.3. Formule d'un engrais ; 3. Inconvénients liés à l'utilisation des produits chimiques : La pollution 3.1. Définition: pollution, polluant ; 3.2. Lutte contre la pollution de l'air ; 3.2.1. Quelques polluants atmosphériques ; 3.2.2. Les conséquences de la pollution de l'air ; 3.2.3. Les moyens de lutte contre la pollution de l'air.	- Exploiter l'étiquette d'un engrais ; - Déterminer la quantité d'engrais à utiliser pour une culture (uniquement la masse d'azote) ;  - Différencier polluant atmosphérique et gaz à effet de serre ; - Opérer un choix judicieux des appareils électroménagers, des bombes aérosols n'utilisant pas les CFC.	Développer : - le sens du respect de l'environnement ; - le sens du respect des consignes d'utilisation et de conservation des engrais ; -l'esprit de concentration.	-Echantillons d'engrais -Étiquette d'engrais - Aérosol

Programme de Physique - Chimie - Technologie de l'Enseignement Secondaire Général classes de 4<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup>

Page 30 sur 57

Cadre de contextualisation		Agir compétent		Ressources			
Famille de situations	Exemples de situations	Catégorie d'actions	Exemples d'actions	Savoirs	Savoir-faire	Savoir-être	Autres ressources
		-Lutte contre la pollution des eaux.	-Installer et utiliser les bacs à ordures -Trier et retirer du sol les objets non biodégradables	3.3. Lutte contre la pollution des sols ; 3.3.1. Les polluants des sols (déchets agricoles et chimiques, les engrais, les pesticides, les décharges, les boues d'épuration, les pétroles) ; 3.3.2. Les conséquences de la pollution des sols ; 3.3.3. La sensibilisation de la population 3.4. Lutte contre la pollution des eaux ; 3.4.1. Différentes sources de pollution des eaux ; 3.4.2. Les moyens de lutte contre la pollution des eaux ; 3.4.3. La sensibilisation de la population	- Fabriquer et utiliser des bacs à ordures ; - Recycler les ordures ménagères ; - Assurer le tri des ordures ménagères ; - Mener des actions de sensibilisation dans votre localité ; - Utiliser les techniques de communication ;  - Appliquer les techniques de traitement des eaux usées et polluées ; -Contribuer à la gestion des produits toxiques.	-Développer le respect des consignes de gestion des produits destinés aux sols.	- Hysacam - Ingénieur agronome - Environnementaliste - Centre Pasteur

Figure 33 : extrait du module 3 du programme de chimie de la classe de 4<sup>e</sup> francophone au Cameroun en vigueur depuis 2014 (p. 29)

### 9-2-3 Présentation du module 1 du programme de chimie de la classe de 3<sup>e</sup> francophone au Cameroun en vigueur depuis 2014

Ce module se situe dans la continuité du programme de chimie de la classe de 4<sup>e</sup>. Il comprend deux grandes parties (Figure 34) : d'une part les propriétés et les caractéristiques de la matière, d'autre part, les transformations de la matière. Les principaux savoirs qui font l'objet du module sont : les constituants de la matière, la classification des éléments, la mole, l'électrolyse de l'eau, la synthèse de l'eau ainsi que les solutions aqueuses. La construction des modèles moléculaires, l'usage du tableau de classification périodique des éléments font partie des tâches à réaliser.

Cadre de contextualisation		Agir compétent		RESSOURCES			
Famille de situations	Exemples de situations	Catégories d'actions	Exemples d'actions	Savoir	Savoir-faire	Savoir-être	Autres ressources
Utilisation, production et conservation de biens usuels de consommation	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Utilisation de biens usuels de consommation ;</li> <li>-Production de biens usuels de consommation ;</li> <li>-Conservation de biens usuels de consommation ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Détermination des caractéristiques et des propriétés de la matière</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Déterminer les constituants de la matière</li> </ul>	<b>1. Les constituants de la matière</b> 1.1. Atomes, constituants de l'atome (noyau, électrons), symbole de quelques atomes, ordre de grandeur des atomes (rayon et masse) ; 1.2. Molécules, formule brute, liaison de covalence ; 1.3. Ions (monoatomique, poly atomique), anions et cations ;	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construire des modèles moléculaires (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, HCl, N<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>) ;</li> <li>- Déduire d'un modèle moléculaire la formule brute de la molécule ;</li> <li>- Donner les noms et formules brutes des ions (ion chlorure, ion calcium, ion sulfate, ion sodium, ion potassium, ion hydronium et ion hydroxyde) ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-La curiosité et le sens de l'observation</li> <li>-Le respect des avis des autres</li> <li>-L'ouverture d'esprit</li> <li>-L'esprit d'équipe, de coopération</li> <li>-Prise de décision et esprit critique</li> <li>-Pensée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modèles moléculaires,</li> <li>- Balance,</li> <li>- Masses marquées,</li> <li>- Échantillons de corps purs,</li> <li>- Tableau périodique des éléments.</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>-Utiliser la classification périodique des éléments</li> </ul>	<b>2. Classification des éléments</b> 2.1. Élément chimique, numéro atomique ; 2.2. Règle de classification périodique des éléments (20 premiers éléments) ;	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiliser une classification périodique des éléments pour y retrouver le nom, le numéro atomique et la masse molaire atomique d'un élément ;</li> <li>-Situer un élément sur le tableau périodique connaissant le numéro atomique ;</li> </ul>		

Cadre de contextualisation		Agir compétent		RESSOURCES			
Famille de situations	Exemples de situations	Catégories d'actions	Exemples d'actions	Savoir	Savoir-faire	Savoir-être	Autres ressources
	Communication et information sur la matière ;	-Transformations chimiques de la matière	-Intégrer l'unité de décompte de la matière  - Utiliser une réaction chimique	<b>3. La mole</b> 3.1. Définitions : Mole, constante d'Avogadro, masse molaire moléculaire, quantité de matière ; 3.2. Relation entre quantité de matière et masse <b>4. Notion de réaction chimique</b> 4.1. Définitions : réaction chimique, réactif, produit, équation-bilan; 4.2. Loi de conservation de la matière au cours d'une réaction chimique ; 4.3. Réaction entre le fer et le soufre ;	- Calculer la masse molaire moléculaire d'un composé ; -déterminer la quantité de matière ; -Distinguer la mole de son symbole ; -Schématiser une réaction chimique par une équation -bilan; -Identifier dans une équation-bilan, les produits et les réactifs ; - Écrire l'équation-bilan de la réaction entre le fer et le soufre et celles de quelques réactions de combustion vues en classe de 4 <sup>e</sup> ; - Écrire et équilibrer une équation-bilan d'une réaction chimique ; - Exploiter une équation-bilan d'une réaction chimique; -Réaliser quelques réactions chimiques et des tests d'identification des produits ; - Montrer la conservation de la matière au cours d'une réaction chimique ;	créatrice - -Raisonnement logique -Méthode dans l'action ; -Souci de la sécurité, - la prudence, - le risque ; - Respect des règles de sécurité dans une réaction chimique.	

Cadre de contextualisation		Agir compétent		RESSOURCES			
Famille de situations	Exemples de situations	Catégories d'actions	Exemples d'actions	Savoir	Savoir-faire	Savoir-être	Autres ressources
Utilisation, production et conservation de biens usuels de consommation	Communication et information sur la matière	Transformations chimiques et physiques	Réaliser l'électrolyse et la synthèse de l'eau  - Analyser une solution aqueuse ; - Réaliser les tests d'identification de quelques ions ;	<b>5. Électrolyse et synthèse de l'eau</b> Définitions : électrolyse, synthèse, analyse.  <b>6. Les solutions aqueuses</b> 6.1. Définition : solution aqueuse, 6.2. Solutions aqueuses conductrices et non conductrices, 6.3. Électroneutralité ; 6.4. Dissolution des solides ioniques dans l'eau (Ca(OH) <sub>2</sub> , KOH, AgNO <sub>3</sub> , NaCl, BaCl <sub>2</sub> );	- Écrire les équations –bilans de l'électrolyse et de la synthèse de l'eau ; -Réaliser l'électrolyse de l'eau, la synthèse de l'eau ;  - Vérifier la conductibilité électrique d'une solution ; - Réaliser la dissolution d'un composé ionique (Ca(OH) <sub>2</sub> , NaCl) dans l'eau ; - Réaliser les tests d'identification des ions (Ca <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> , HO <sup>-</sup> ); - Écrire les équations-bilans de mise en	-La curiosité et le sens de l'observation -Le respect des avis des autres -L'ouverture d'esprit -L'esprit d'équipe, de coopération	- Verrerie (bêcher, fiole jaugée, éprouvette graduée...); - Sucre, sel de cuisine, -Solutions de (AgNO <sub>3</sub> , BaCl <sub>2</sub> , (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) -Électrolyseur,

Figure 34 : Extrait du module 1 du programme de chimie de la classe de 3<sup>e</sup> francophone en vigueur depuis 2014 (p. 36)

#### 9-2-4 Analyse du module 1 du programme de chimie de la classe de 3<sup>e</sup> francophone

La première difficulté qui s'observe concerne l'introduction des constituants de la matière en classe de troisième. Il n'existe pas de lien entre les propriétés physiques de la matière étudiées en classe de 5<sup>e</sup> et les constituants de la matière contenus dans le programme de 3<sup>e</sup>. Pourtant, l'existence de ce lien faciliterait la compréhension des concepts chimiques respectivement au niveau macroscopique et microscopique. La deuxième difficulté concerne les modèles. En classe de 3<sup>e</sup>, on demande aux élèves de construire des modèles moléculaires, pourtant ces derniers n'ont pas de prérequis, puisque le programme de la classe de 4<sup>e</sup> se limite à la maîtrise des symboles des 20 premiers éléments chimiques, et ne fait pas référence au processus de formation des molécules. De plus, la modélisation concerne exclusivement les réactifs et les produits de la combustion du carbone, du fer, du soufre ou encore du butane. Cette activité de modélisation n'est pas correctement formulée puisqu'elle ne fait aucun rapprochement entre les atomes et leurs modèles. Le programme comporte des points positifs. Premier point positif, on part du modèle moléculaire afin d'établir un lien avec la formule brute d'une molécule. Le deuxième point positif concerne l'approche expérimentale qui permet une mise en relation des différents niveaux de savoir. Cependant, le deuxième point positif est difficile à mettre en place, puisque le programme recommande un passage brutal de l'expérience à la schématisation de l'équation bilan d'une réaction chimique. Or les corps intervenant dans la réaction chimique devraient être rencontrés lors des expériences, suivies de l'usage d'un symbole facilitant l'écriture de l'équation bilan. On relève un problème fondamental d'agencement des concepts. Par exemple, lorsqu'on étudie les solutions aqueuses, on parle des composés ioniques, pourtant aucun apprentissage n'est prévu pour la nomenclature de ces composés. Concernant d'autres aspects du programme, lorsqu'on regarde la spécification des savoirs en termes de niveau, on note premièrement leur absence, deuxièmement les niveaux empirique et macroscopique fortement présents dans les programmes de 6<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup> sont complétés par les niveaux microscopique et symbolique/visualisation en 4<sup>e</sup> et en 3<sup>e</sup>. Cet ajout a une explication. En classes de 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup>, on s'intéresse aux propriétés physiques ainsi qu'aux transformations physiques de la matière : c'est le niveau macroscopique-empirique (visible). En classe de 4<sup>e</sup> et en classe de 3<sup>e</sup>, on introduit les atomes ce qui rentre dans les éléments constitutifs de la matière : c'est le niveau microscopique pour les atomes (invisible). De plus, on représente ces atomes par les formules chimiques (niveau symbolique/visualisation). En classe de 3<sup>e</sup>, on poursuit l'étude microscopique et symbolique/visualisation de l'atome *via* les expériences et

l'usage des modèles : d'où la persistance du niveau empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation. Les niveaux macroscopique et empirique persistent dans les études et sont de plus en plus dominants.

### **9-3 Bilan d'analyse du programme du collège**

Les niveaux de savoir sont introduits sans spécification dans tous les programmes (6<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup>). Les niveaux microscopiques et symbolique/visualisation qui sont introduits dès la classe de 4<sup>e</sup> permettent une étude plus approfondie de la matière. A cet effet, l'usage des modèles est recommandé dans le programme dès la classe de 4<sup>e</sup> afin de représenter les molécules. Concernant l'approche expérimentale (niveau empirique), elle est dans la plupart des cas recommandée pour introduire les concepts tels que la transformation physique, la réaction chimique ... A propos de la nomenclature, aucune précision n'est faite dans le programme non seulement concernant les noms chimiques, noms usuels ou courants, mais aussi concernant les lettres utilisées dans l'écriture des formules chimiques. Les concepts d'atome et de molécule qui se situent au centre des divers apprentissages ne sont pas beaucoup valorisés. Par ailleurs, les corps purs simples et composés sont bien différenciés dans le programme chimique au vu des formules chimiques. Concernant l'écriture d'une équation bilan en dehors du passage brutal de l'expérience à l'écriture de l'équation bilan tel que le recommande le programme en vigueur, on note une absence de spécification des états dans lesquels se trouvent les corps qui interviennent dans une équation bilan. Enfin, dans le programme du collège en général, nous avons une panoplie de savoirs, mais il n'est nullement précisé si nous sommes dans l'empirique, le macroscopique, le microscopique ou encore dans le niveau symbolique /visualisation. Cette absence de spécification ne favorise pas une circulation entre les niveaux de savoir.

### **9-4 Le programme de chimie de la classe de 2<sup>nde</sup> scientifique : présentation**

Le programme de chimie de la classe de seconde se situe dans le prolongement de celui du collège. Il permet à l'enseignant de mieux jouer son rôle de facilitateur auprès des apprenants qui sont amenés de plus en plus à mieux utiliser et capitaliser les acquis des outils construits en classe. Les finalités du programme de la classe de seconde sont communes aux autres programmes déjà étudiés.

Par ailleurs, il comporte deux grands modules pour une durée totale de 72 heures (Figure 35) :

- la structure de la matière et l'analyse élémentaire des concepts organiques ;
- les solutions aqueuses.

Dans la partie sur les solutions aqueuses, on retrouve les catégories d'action ci-après : la détermination des grandeurs caractéristiques des solutions, la détermination de la nature des solutions, la caractérisation des ions. En ce qui concerne la structure de la matière et l'analyse élémentaires des composés, on retrouve : la détermination de la structure de l'atome et l'exploitation de tableau de classification périodique des éléments chimiques introduite depuis la classe de 4<sup>e</sup>, la détermination de la structure d'une molécule, la détermination du volume molaire, la détermination d'un composé ionique ainsi que l'analyse d'un composé organique.

TITRES DES MODULES	CATEGORIES D'ACTION	DUREE (heures)
Structure de la matière et analyse élémentaire des composés organiques	Détermination de la structure d'un atome	32 H
	Exploitation du tableau de classification périodique des éléments	
	Détermination de la structure d'une molécule	
	Détermination du volume molaire	
	Détermination d'un composé ionique	
	Analyse d'un composé organique	
Solutions aqueuses	Détermination des grandeurs caractéristiques des solutions	40 H
	Détermination de la nature d'une solution	
	Caractérisation des ions	

**Figure : 35** Tableau synoptique extrait du programme de la classe de seconde en vigueur depuis 2018 (p. 4)

#### 9-4-1 Profil d'un élève en fin de cycle au lycée

En fin de cycle, à partir des familles de situations telles que la constitution chimique, l'élève doit être capable d'identifier un problème, afin de le mettre en relation avec les notions acquises. Il devra proposer une démarche pour résoudre ce problème en effectuant si possible une expérience tout en se souciant des implications sur sa sécurité ainsi que celles sur son environnement. L'élève doit également être capable de maîtriser les compétences liées à l'expérimentation, à la démarche scientifique et aux technologies de l'information et de la communication. Toujours en fin de cycle, l'élève doit être capable de poursuivre ses études dans les filières où la chimie est présente et s'insérer facilement dans le milieu professionnel. (Ministère des enseignements secondaires, 2018).

### **9-4-2 Les finalités du module 1 de chimie**

Comme le programme le précise, il est question pour l'élève dans ce module, de :

- « - se familiariser avec l'atome ainsi que la classification périodique des éléments ;
- comprendre qu'un atome tend à acquérir la configuration électronique d'un gaz rare dans la formation des molécules et des ions ;
- faire une étude sur la structure de chaque composé ionique ;
- utiliser un volume de gaz à température et pression donnée ;
- lui montrer l'importance des composés organiques dans le monde et l'initier à l'analyse élémentaire des composés ioniques. » (Ministère des enseignements secondaires, 2018)

### **9-4-3 Présentation du module 1 du programme de chimie de la classe de seconde francophone (Annexe 4)**

Ce module comporte six parties :

- le noyau atomique ;
- la structure électronique des atomes ;
- la classification périodique des éléments ;
- la molécule et la notion de volume molaire ;
- la structure de quelques composés ioniques ;
- l'introduction à la chimie organique. (Ministère des enseignements secondaires, 2018)

La première partie porte sur l'étude du noyau atomique, on se réfère à l'expérience de Rutherford pour la mise en évidence des éléments constitutifs du noyau atomique. La structure de l'atome est aussi étudiée, sans oublier les isotopes ainsi que la représentation symbolique d'un noyau atomique. L'identification des isotopes s'effectue à partir d'une liste de nucléides.

La seconde partie porte sur « l'étude de la structure électronique de l'atome ». On étudie notamment la charge et la masse de l'électron, la répartition des électrons autour du noyau, les

règles de remplissage des couches électroniques, la structure de Lewis, la règle du duet et de l'octet, l'application des règles du duet et de l'octet à la formation des ions monoatomiques. Un accent particulier est mis non seulement sur la détermination de la structure électronique d'un atome à partir de son numéro atomique, mais aussi sur l'écriture de la représentation de Lewis des 18 premiers éléments.

La troisième partie porte sur « la classification périodique des éléments ». On y retrouve le principe de construction du tableau de classification périodique, l'intérêt de la classification périodique des éléments chimiques, l'étude du tableau de classification périodique des éléments.

La quatrième partie porte sur les molécules et le volume molaire. On y retrouve les liaisons covalentes, les exemples de liaison simple, les exemples des autres types de liaisons chimiques, la valence d'un atome, la représentation d'une molécule, l'atomicité, la structure géométrique d'une molécule, le volume molaire, la loi d'Avogadro-Ampère, la loi des gaz parfaits. Il est également question dans cette partie, de représenter non seulement les molécules à partir des modèles moléculaires des molécules, mais aussi de représenter leurs structures géométriques.

La cinquième partie porte sur la structure des composés ioniques ainsi que sur la caractérisation de quelques ions. On y retrouve la structure du chlorure de sodium, la représentation géométrique de sa maille, la formule statistique des composés ioniques, les méthodes générales d'identification des métaux ainsi que les tests d'identification de quelques anions et cations. L'approche expérimentale est requise pour l'identification des ions.

La sixième partie porte sur l'introduction à la chimie organique. On y retrouve des expériences permettant de mettre en évidence les composés organiques, le principe de l'analyse élémentaire pour les composés comportant les éléments carbone, hydrogène, oxygène et azote, enfin, la détermination de la formule brute de quelques composés.

#### **9-4-4 Analyse du module 1 du programme de chimie de la classe de 2<sup>nd</sup>e scientifique**

Ce module s'inscrit dans la continuité des cours étudiés depuis le collège. En plus de la rigueur qui est de plus en plus demandée au niveau du langage, un accent principal est mis sur l'approche monstrative de l'expérimentation (niveau empirique) qui permet à l'enseignant d'introduire ce qui se passe aussi bien au niveau microscopique qu'au niveau macroscopique.

Le symbolique, qui est introduit dans le programme, permet de représenter les espèces chimiques. Aucune distinction n'est faite concernant le nombre de masse et la masse atomique. La distinction entre nombre de masse ( $A$ ) et le numéro atomique ( $Z$ ) se fait exclusivement par des calculs comme un exercice de mathématique à résoudre ( $A=N+Z$  avec  $N$  nombre de neutrons). Comme exemple de calcul, il est communément demandé à l'élève de donner le nombre de neutrons contenus dans le  ${}^6_{12}\text{C}$ . Réponse attendue :  $N=12-6$  soit 6 neutrons. L'approche expérimentale est utilisée pour la mise en évidence du noyau atomique sans modélisation par la suite. Curieusement, aucune précision n'est faite sur les modèles lors de l'écriture de la structure électronique des atomes. Pourtant, l'atome étant une entité de très petite taille, l'usage du modèle conviendrait pour représenter ce qui se passe au niveau microscopique. Concernant l'approche expérimentale, elle est utilisée pour montrer ce qui se passe au niveau macroscopique. Par exemple lors de la réalisation des tests d'identification des ions et leurs caractérisations, l'élève voit les couleurs des ions, il observe les changements de couleurs, ainsi que les précipités qui se forment. Quant à l'analyse élémentaire des composés organiques, elle est introduite de manière qualitative et quantitative pour décrire et expliquer ce qui se passe au niveau microscopique. Les formules chimiques sont utilisées à cet effet à titre représentatif. En général, dans ce module, comme dans les autres modules du premier cycle de chimie, on note une absence totale de spécification des savoirs en termes de niveaux. Cependant, les niveaux de savoir sont sous-entendus dans le programme dans des proportions variables. Concernant les modèles bien qu'utilisés pour rendre compte des phénomènes qui se passent, ils ne sont pas beaucoup utilisés dans le programme. Cette faible utilisation des modèles témoigne du passage brutal de l'expérience à l'écriture de l'équation bilan de la réaction chimique qui a lieu. Pourtant ce passage brutal constitue un véritable obstacle à la compréhension des phénomènes ayant lieu aussi bien aux niveaux empirique et macroscopique, qu'au niveau microscopique ainsi qu'au niveau symbolique/visualisation.

#### **9-4-5 Le module 2 du programme de chimie de la classe de seconde scientifique : présentation**

Le module 2 du programme de chimie de la classe de seconde a pour titre « les solutions ». Il comporte 5 parties (annexe 5) :

- les généralités sur les solutions aqueuses,

- les solutions acides, basiques et neutres,
- la notion de « pH »,
- le dosage d'une solution d'acide chlorhydrique par une solution d'hydroxyde de sodium,
- la caractérisation de quelques ions. ((Ministère des enseignements secondaires, 2018)

La première partie est intitulée « les généralités sur les solutions aqueuses ». On retrouve dans cette partie la molécule d'eau, sa structure, son pouvoir solvant, la dissolution dans l'eau des solides ioniques, le rôle du solvant ainsi que ses effets thermiques, les grandeurs caractéristiques des concentrations massiques, molaires, sans oublier la solubilité, la saturation, la dilution ainsi que l'électroneutralité d'une solution. L'approche expérimentale est fortement recommandée pour cette partie.

La seconde partie est intitulée « les solutions acides, basiques et neutres ». On retrouve dans cette partie pour ce qui est des acides, l'étude des propriétés physiques ainsi que la structure du chlorure d'hydrogène, l'acide chlorhydrique, les ions hydroniums, la concentration molaire en ion hydronium, les propriétés acides liées à l'ion hydronium, le caractère acide d'une solution, le test et la réaction de caractérisation de l'ion chlorure, l'action des acides sur les métaux ainsi que l'étude des acides présents dans les produits naturels. En ce qui concerne les bases, on retrouve la structure de l'hydroxyde de sodium, la solution aqueuse d'hydroxyde de sodium, les propriétés liées à l'ion hydroxyde, les bases courantes issues des produits locaux, l'action de la soude sur les métaux.

La troisième partie est intitulée la notion de « pH », on y retrouve la relation liant le potentiel d'hydrogène à la concentration molaire, sa mesure, les zones de pH pour une solution acide et pour une solution basique, les indicateurs colorés, les indicateurs colorés naturels, la zone de virage, le papier pH.

La quatrième partie est intitulée « dosage d'une solution d'acide chlorhydrique » par la soude. On y retrouve la réalisation du dosage acide base, l'étude des indicateurs colorés, le calcul de concentration d'une entité à partir du dosage en appliquant la relation qui traduit l'équivalence acido-basique, enfin, l'écriture de l'équation bilan de la réaction du dosage.

La cinquième partie, intitulée « la caractérisation des ions » fait appel aux ions énumérés lors de l'étude de solutions acides, basiques et neutres. Les divers tests caractéristiques sont réalisés *via* l'approche expérimentale fortement recommandée dans cette partie.

## 9-4-6 Analyse du module 2

Comme nous l'avons souligné précédemment, l'approche expérimentale est requise en classe de seconde. Les laboratoires, dans les rares cas où ils existent, ne sont pas équipés et ne permettent pas une bonne mise en place des activités expérimentales telles que le recommande le programme en vigueur. Les niveaux empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation ne sont pas spécifiés dans le programme, mais ils sont utilisés pour la mise en place des savoirs. Par exemple, dans le programme on parle de solution, de dissolution, qui appartient au niveau macroscopique, bécher, fiole jaugée qui relèvent du niveau empirique. Comme exemple du niveau symbolique/ visualisation, on a les formules chimiques comme  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Comme exemple de concept lié au niveau microscopique, on a les ions hydroniums, ions hydroxyde. Dans le programme, il est également mentionné la préparation de solution commerciale, sans distinction langagière, la distinction entre nom courant, nom commercial ou nom scientifique peut passer de manière inaperçue pour les apprenants. En effet, les élèves retiennent facilement les noms qui se trouvent dans leurs environnements immédiats et cela n'exclut pas un blocage lors de l'association des noms aux formules chimiques. Par exemple pour l'acide chlorhydrique «  $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$  », les élèves, les enseignants et même les concepteurs des épreuves des examens certificatifs ont tendance à l'assimiler au chlorure d'hydrogène «  $\text{HCl}$  ». Contrairement à certaines parties du programme du collège, on note une avancée du point de vue de la structuration des concepts qui s'enchainent. Il est mentionné les solutions aqueuses acides, les solutions aqueuses basiques, neutres puis le dosage. Mais, aucune spécification n'est faite non seulement concernant l'étude des propriétés physiques des acides ou des bases, mais aussi concernant l'usage du modèle. Pourtant, les modèles peuvent être utilisés en l'absence de laboratoires. Enfin, bien que la structuration du programme contient des savoirs véhiculés par les différents niveaux de la chimie (niveaux empirique, macroscopique, microscopique et le symbolique/visualisation), un découpage cohérent des savoirs en fonction de ces niveaux devrait être fait afin de garantir un apprentissage adéquat.

## 9-5 Le programme de chimie de la classe de première scientifique : présentation

Le programme de chimie de la classe de première est commun aux spécialités C et D. Il comporte deux grands modules pour un volume horaire annuel de 50 heures à raison de 2 heures hebdomadaires. La partie, intitulée chimie organique telle qu'indiquée sur la figure 36 regroupe : la réactivité et la synthèse des hydrocarbures, la caractérisation de quelques composés oxygénés, la réactivité et la synthèse de quelques composés aromatiques. En ce qui concerne la partie appelée oxydoréduction, on y retrouve l'identification des notions d'oxydoréduction en solution aqueuse, la classification des couples oxydants réducteurs,

l'exploitation des couples oxydants réducteurs, la réalisation des dosages d'oxydoréduction, la réalisation des transformations chimiques forcées et l'utilisation des nombres d'oxydation.

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

**Figure 36 : Tableau synoptique des modules extraits du programme de la classe de première en vigueur depuis 2019 (p. 4)**

### 9-5-1 Présentation du module 1 du programme de chimie de la classe de première

Ce module est commun aux classes de première C, D et TI (technologie de l'information). Le but de cet apprentissage est d'initier l'élève à la nomenclature, et de l'aider à se familiariser avec les formules développées. De plus, l'élève est aussi appelé non seulement à identifier un problème, mais aussi à proposer une démarche de résolution mettant ainsi en relation ses savoirs. Ce module comporte quatre parties (voir annexe 6) :

- les alcanes ;
- les alcènes et les alcynes ;
- les composés oxygénés (alcools, aldéhydes, cétones)
- les composés aromatiques. (Ministère des enseignements secondaires, 2019)

La première partie est intitulée « les alcanes ». On étudie la structure de l'alcane (carbone tétragonal, représentation spatiale, conformation, généralisation à la chaîne carbonée des alcanes), les formules générales des alcanes (brute, semi développée, développée), ses propriétés physique et chimique (réaction de destruction, réaction de substitution, les dérivés halogénés des alcanes), la préparation du méthane au laboratoire. Les modèles sont fortement recommandés pour la représentation géométrique des molécules.

La deuxième partie est intitulée « les alcènes et les alcynes ». On y retrouve la structure des alcènes et des alcynes (carbone digonal, trigonal, représentation spatiale, configuration), les formules (générale, brute, semi développée, développée), l'isomérisation Z et E, les propriétés chimiques (combustion, réaction d'addition, réaction de polymérisation), préparation de l'acétylène au laboratoire.

La troisième partie est intitulée « composés oxygénés ». On y retrouve : l'identification des groupes fonctionnels (alcools, aldéhydes et cétones), l'isomérisation des trois classes d'alcools, la nomenclature, les formules (brute, semi développée), l'étude des propriétés physiques, les tests caractéristiques des aldéhydes et des cétones (action du DNPH, action du réactif de Schiff, action de la liqueur de Fehling, action du réactif de Tollens).

La quatrième partie est intitulée « composés aromatiques ». Cette partie comprend : l'étude de la structure des composés aromatiques tels que le benzène (géométrie de la molécule, électron délocalisé, le noyau benzénique, sa représentation symbolique) ainsi que ses dérivés, les propriétés chimiques des composés aromatiques (combustion, réaction d'addition, réaction de substitution (halogénéation, sulfonation, nitration...)). Les modèles sont fortement recommandés pour représenter les molécules.

### **9-5-2 Analyse du module 1 du programme de chimie de la classe de première scientifique**

Ce premier module de chimie s'inscrit dans la continuité du module 1 de la classe de seconde. En effet, en classe de seconde, on initie l'élève à l'analyse élémentaire des composés organiques, l'étude se poursuit en classe de première avec les grandes familles de composés organiques (alcools, aldéhydes, cétones). Contrairement au programme des classes précédentes, un accent particulier est mis sur la nomenclature de chaque famille de composés étudiés. Les modèles utilisés depuis la classe de 4<sup>e</sup>, sont utilisés non seulement pour la représentation géométrique des molécules, mais aussi pour la représentation des dispositifs expérimentaux. Contrairement aux programmes des classes précédentes qui recommandent une introduction des cours par une activité expérimentale (niveau empirique), dans ce programme, la formulation des activités expérimentales n'est pas précisée. Par conséquent une lecture du programme laisse penser qu'il est juste demandé aux élèves de décrire le dispositif expérimental et de faire une modélisation. Il en est de même pour les tests communs aux composés carbonyles dont la

formulation en termes d'activité à mener en classe n'est pas explicite. Par ailleurs, ce programme se centre beaucoup plus sur l'aspect microscopique de la matière. Par exemple, la réactivité, les réactions de combustion, d'addition, de substitution, permettent de rendre compte de ce qui se passe au niveau microscopique. De plus, les symboles sont utilisés dans le programme pour représenter les atomes, les molécules, ainsi que les équations bilan des réactions chimiques. Aucune précision n'est faite quant à la durée requise pour l'apprentissage de chaque concept contenu dans un module. Il en est de même pour les savoirs qui ne sont pas spécifiés en termes de niveau (empirique, macroscopique, microscopique, symbolique/visualisation). Par conséquent, l'usage des noms des composés chimiques n'aide pas l'enseignant à se situer sur un niveau de savoir.

### **9-5-3 Présentation du deuxième module de chimie de la classe de première C, D**

Contrairement au module précédent, ce module concerne exclusivement les premières C et D. Ce module a pour but d'aider l'élève à acquérir et à consolider ses savoirs, ses savoir-faire relatifs à l'oxydoréduction. De manière spécifique, il est question pour l'élève d'utiliser une classification électrochimique afin de réaliser des piles, de prévoir le sens de la réaction naturelle entre deux couples oxydants réducteurs, de familiariser l'élève avec le principe de dosage d'oxydoréduction et aux équilibres des équations bilan d'oxydoréduction. Le module comporte cinq grandes parties (voir annexe 7) :

- les généralités sur l'oxydoréduction en solution aqueuse ;
- la notion de couple oxydant-réducteur et la classification électrochimique ;
- les piles ;
- la généralisation de la notion d'oxydoréduction ;
- l'oxydoréduction par voie sèche. (Ministère des enseignements secondaires, 2019)

La première partie est intitulée « les généralités sur l'oxydoréduction ». On y retrouve l'action d'un acide sur un métal, la réaction entre un ion métallique et un métal, la définition des concepts clés de l'oxydoréduction notamment, l'oxydation, la réduction, oxydant, réducteur, oxydoréduction. De manière spécifique il est question de réaliser des expériences portant sur l'action des acides chlorhydrique et sulfurique dilués sur les métaux (zinc, fer,

civre, aluminium, argent, or ...), d'écrire les demi-équations électroniques et l'équation bilan, de réaliser la réaction du zinc ou du fer sur les ions métalliques ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ...).

La deuxième partie est intitulée « notion de couple oxydant réducteur et classification électrochimique ». On y retrouve la notion de couple oxydant-réducteur ainsi que la classification électrochimique. Il est question pour l'élève dans cette partie de réaliser des expériences de mise en évidence de quelques couples oxydant-réducteur, de réaliser des expériences mettant en jeu les couples  $\text{Mn}^{2+}/\text{Mn}$  et  $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2$ , d'établir une classification des couples oxydant-réducteur et placer le couple  $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2$  dans cette classification.

La troisième partie est intitulée « les piles ». On y retrouve les exemples de pile Daniell, la demi-pile, la polarité, les caractéristiques des piles, la notation conventionnelle, le schéma de la demi-pile de référence (demi-pile à hydrogène), la classification qualitative, la place du couple  $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2$ , notion de potentiel d'oxydoréduction, le potentiel standard ainsi que la classification quantitative. Il est question dans cette partie d'écrire les équations aux électrodes et l'équation bilan de fonctionnement de la pile, de réaliser une pile et de déterminer expérimentalement ses pôles et sa f.é.m.

La quatrième partie est intitulée « généralisation de la notion d'oxydo-réduction ». Dans cette partie, on y retrouve les potentiels normaux d'autres couples en solution aqueuse, l'application au dosage d'oxydoréduction et à l'électrolyse, la réaction aux électrodes, les règles de prévision, le phénomène de surtension, les aspects quantitatifs de l'électrolyse, la corrosion et la protection des métaux. De manière spécifique, il est question pour l'élève d'écrire les demi-équations électroniques et les équations-bilan d'oxydoréduction avec les couples :  $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{NO}_3^-/\text{NO}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}/\text{SO}_2$ ,  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cl}_2/\text{Cl}^-$ ,  $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ;  $\text{I}_2/\text{I}^-$ , d'identifier ces couples dans la classification, schématiser et décrire le dispositif expérimental du dosage, d'effectuer le dosage d'une solution d'ions  $\text{Fe}^{2+}$  par une solution d'ions  $\text{MnO}_4^-$ , savoir repérer le point d'équivalence, doser une solution de diiode par une solution d'ions  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ , d'écrire les demi-équations puis l'équation bilan la méthode étant donnée, d'effectuer d'autres dosages, de réaliser des électrolyses en solution aqueuse de  $\text{HCl}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{CuSO}_4$ , d'indiquer le type de réaction au niveau de chaque électrode (oxydation anodique et réduction cathodique), d'appliquer les règles de prévision pour l'écriture des réactions et d'expliquer les phénomènes de surtension.

La cinquième partie est intitulée « oxydoréduction par voie sèche ». Elle comporte les exemples de combustions du magnésium et du dihydrogène dans le dioxygène et le dichlore, celle du carbone dans le dioxygène, la notion de nombre d'oxydation et son utilisation, les applications industrielles (sidérurgie, aluminothermie, la préparation de l'acide nitrique et de l'acide sulfurique). De manière spécifique, il est question pour l'élève d'appliquer les règles conventionnelles à la détermination du nombre d'oxydation des éléments, de montrer qu'une réaction est une réaction d'oxydoréduction en utilisant les nombres d'oxydation, d'utiliser les nombres d'oxydation pour équilibrer une réaction redox, d'indiquer le principe des applications industrielles, d'écrire les équations bilan des réactions intervenant dans la préparation des acides sulfurique et nitrique.

#### **9-5-4 Analyse du module 2 du programme de chimie pour les classes de première C et D**

Dans ce programme, les niveaux de savoir empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation sont présents toutefois sans être spécifiés. Il revient à l'enseignant d'effectuer la lourde tâche au cours des transpositions didactiques : les distinguer au cours d'un apprentissage. Ce module s'inscrit dans la continuité des cours étudiés depuis la classe de seconde. Par exemple, l'oxydoréduction est introduite dès la classe de seconde notamment lors de l'étude des acides sur les métaux. Ce module permet d'approfondir les connaissances des élèves en oxydoréduction. Comme dans tous les autres modules du programme, on retrouve les niveaux de savoir sans spécification. Cependant, les expériences sont fortement recommandées dans l'introduction de chaque concept à étudier. Mais, ces expériences ne sont utilisées que pour des observations : le niveau macroscopique est valorisé. Aucune précision n'est faite quant au passage d'un niveau de savoir à un autre : les concepts chimiques sont utilisés sans précision ce qui est susceptible de créer des confusions des termes au cours de l'apprentissage. Par exemple, lorsqu'on parle du couple oxydant réducteur suivant : «  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}$  »,  $\text{Fe}^{2+}$  encore appelé l'ion fer (II) est utilisé sans précision de son état (en solution aqueuse), pourtant, la couleur verte indique l'ion fer (II) en solution : c'est le niveau macroscopique, on le modélise par une formule chimique «  $\text{Fe}^{2+}$  ». Dans la majeure partie des cas, l'élève se limite au niveau symbolique et écrit l'équation bilan de l'oxydation du fer (II), dans des cas assez rares, il tente d'expliquer le phénomène d'oxydation. De plus, de nouvelles espèces chimiques sont introduites en fonction du niveau d'étude mais aucune précision ni de spécification n'est faite

sur la nomenclature relative à ces composés. Par ailleurs, les expériences ont pour but de permettre une classification des couples oxydants réducteurs mis en jeu mais le passage de l'expérience à l'écriture de l'équation bilan de la réaction chimique reste problématique. De plus, la réaction chimique s'étudie exclusivement de manière quantitative et limitée aux corps purs intervenant dans la réaction chimique : ce volet d'étude ne permet pas une compréhension des aspects microscopiques de la réaction chimique. L'étude de l'oxydoréduction par voie sèche s'effectue sans mise en évidence des limites de l'oxydoréduction en phase aqueuse. Au final, bien que l'approche expérimentale soit dominante dans le programme, le fait qu'aucun lien ne soit fait quant à l'usage des modèles dans ce module laisse penser à une non prise en compte dans l'apprentissage.

## **9-6 Le programme de chimie de la classe de terminale C et D et E : présentation générale**

Ce programme est commun aux spécialités C, D et E. Les finalités de ce programme sont communes aux autres programmes de chimie du Cameroun. Il a pour but principal de faciliter un ancrage des connaissances de l'élève afin qu'il puisse développer ses compétences. Réparti sur un volume de cinquante heures annuelles, il comporte trois grands modules : la chimie organique (gestion des composés oxygénés et azotés, structure des composés organiques), les acides et bases (étude et application des transformations acido-basiques), la cinétique chimique (étude de l'évolution temporelle des systèmes chimiques). Chaque module comporte des catégories d'action telles qu'indiqué à la figure 37.

TITRES DES MODULES	CATÉGORIES D'ACTION	DURÉE (heures)
CHIMIE ORGANIQUE	1-Réactivité et synthèse des composés oxygénés.	12 h
	2-Réactivité et synthèse des composés azotés.	04 h
	3-Synthèse des polypeptides.	04 h
	4-Représentations structurales et stériques des isomères.	04 h

Page 4 sur 15

TITRES DES MODULES	CATÉGORIES D'ACTION	DURÉE (heures)
ACIDES ET BASES	1-Structures et propriétés des acides et bases	04 h
	2-Couples acide-bases et équilibre chimique de dissociation	08 h
	3-Dosages acido-basiques	08 h
CINETIQUE CHIMIQUE	Cinétique chimique	06 h

**Figure 37 : Tableau synoptique extrait du programme de chimie de la classe de terminale C, D, E ainsi que les catégories d'action, en vigueur depuis 2020, (p. 4)**

### 9-6-1 Le module 1 du programme de chimie de la classe de terminale : présentation

Ce module est intitulé « chimie organique » pour une durée répartie de la manière suivante : 14 heures de cours, 4 heures de travaux pratiques et 6 heures de travaux dirigés. Ce module poursuit les études développées en classe de première, ici l'apprenant renforce ses connaissances en chimie organique. Le but de cette étude est de permettre à l'apprenant de maîtriser la réactivité et la synthèse des composés oxygénés et azotés. Le module donne en outre l'occasion d'étudier la représentation structurale et spatiale des molécules organiques. Il se structure en cinq parties (voir annexe 8) :

- les propriétés chimiques des alcools ;
- les acides carboxyliques ;
- les amines ;
- les acides  $\alpha$ -aminés ;
- la stéréochimie. (Ministère des enseignements secondaires, 2020)

La première partie concerne l'étude des propriétés chimiques des alcools. On y retrouve la réaction avec le sodium, la déshydratation (inter et intramoléculaire), l'oxydation

(combustion et oxydation ménagée), l'estérification (définition, caractéristiques), la préparation des alcools (par hydratation d'un alcène, par fermentation). De manière spécifique, il est question pour l'élève d'écrire l'équation bilan de la réaction d'un alcool avec le sodium, de mettre en évidence la mobilité de l'hydrogène du groupe fonctionnel des alcools, de réaliser l'expérience de la lampe sans flamme puis d'identifier les produits de cette réaction, de réaliser l'oxydation ménagée de chaque classe d'alcool et de réaliser l'oxydation ménagée des aldéhydes, d'écrire les équations bilan de ces réactions, d'écrire l'équation bilan de l'estérification, d'écrire l'équation d'hydratation d'un alcène et celle de la fermentation alcoolique.

La deuxième partie est intitulée « les acides carboxyliques ». Dans cette partie, on y retrouve : la définition et la formule générale des acides carboxyliques, la structure du groupe carboxyle, la nomenclature des acides carboxyliques et leurs dérivés, les propriétés physiques (température de changement d'état, solubilité dans l'eau), les propriétés chimiques (propriété acide, formation des chlorures d'acyle, formation d'anhydrides d'acide, estérification), formation d'amides, la réaction de polycondensation, la définition de la saponification. De manière spécifique, il est question pour l'élève d'écrire les formules semi-développées des monoacides saturés et insaturés ainsi que les polyacides, de nommer les acides carboxyliques, d'expliquer les propriétés physiques des acides carboxyliques par l'existence des liaisons hydrogène, d'écrire les équations bilan des réactions (action de l'eau sur un acide carboxylique, formation des dérivés des acides carboxyliques, synthèse des esters à partir des chlorures d'acyles et des anhydrides d'acides, formation des polyesters et des polyamides), de décrire la fabrication du savon à partir du glycérol et un acide gras.

La troisième partie est intitulée « les amines ». On y retrouve la structure de la molécule d'ammoniac et le passage aux amines, la définition et la formule générale, les classes d'amines, la nomenclature, les propriétés physiques (état physique, solubilité dans l'eau), les propriétés chimiques (caractère basique, caractères nucléophile et électrophile, réaction de Hofmann). De manière spécifique, il est question pour l'élève d'écrire les formules semi-développées et d'identifier les trois classes d'amines, de nommer les amines, d'expliquer les propriétés physiques des amines par l'existence des liaisons hydrogène, de mettre en évidence le caractère nucléophile des amines, d'écrire l'équation bilan de la réaction de l'eau sur une amine, d'écrire les équations bilan de l'action d'une amine sur un dérivé halogéné et l'application aux réactions d'Hofmann, l'action d'une amine sur un chlorure d'acyle.

La quatrième partie est intitulée les « acides- $\alpha$ -aminés ». Dans cette partie, on retrouve la nomenclature, les propriétés chimiques propriétés acido-basiques (définir amphion ou zwitterion et le représenter), la liaison peptidique, la formation des polypeptides notamment les protéines. De manière spécifique, il est question pour l'élève d'écrire la formule générale d'un acide  $\alpha$ -aminé, d'identifier un carbone asymétrique dans une molécule d'acide  $\alpha$ -aminé, de faire la représentation de Fisher d'une molécule d'acide  $\alpha$ -aminé, d'identifier la configuration L et la configuration D d'une molécule d'acide  $\alpha$ -aminé, d'écrire les équations bilan mettant en évidence le caractère acide et le caractère basique de l'amphion, d'écrire l'équation bilan mettant en évidence l'équilibre entre la forme moléculaire et la forme ionique d'un acide  $\alpha$ -aminé, d'identifier la liaison peptidique au sein d'une molécule, de nommer les peptides, d'écrire l'équation bilan de la réaction de formation d'un dipeptide, d'écrire à l'aide des équations bilan appropriées les différentes étapes de la synthèse d'un dipeptide.

La cinquième partie est appelée « stéréochimie ». Dans cette partie, on retrouve l'isomérisation de constitution, l'isomérisation de chaîne, l'isomérisation de position, l'isomérisation de fonction, la stéréoisomérisation (stéréochimie, stéréoisomérisation, carbone asymétrique, chiralité des molécules, énantiomère, isomérisation optique, activité optique, polarisation de la lumière, diastéréoisomère, stéréoisomère de conformation), l'importance de la stéréoisomérisation. De manière spécifique, il est question pour l'élève de faire la représentation conventionnelle des molécules en perspective, de représenter les énantiomères en perspective et en représentation de Fischer, de discerner les énantiomères des diastéréoisomères, de faire la représentation de Newman des conformations (formes éclipsée, décalée, chaise, bateau).

### **9-6-2 Analyse du module 1 du programme de terminales C, D et E**

Le premier module du programme de chimie de la classe de terminale complète celui introduit depuis la classe de première. Par exemple, les alcools sont introduits depuis la classe de première ; cependant, ce prolongement et l'approfondissement de l'étude qui se fait en classe de terminale par l'étude des propriétés chimiques complète les acquis préalables. Le niveau symbolique/visualisation est utilisé dans la plupart des cas pour écrire une équation bilan. Quant aux modèles, ils sont mentionnés dans le programme en termes de ressources sans modalités d'utilisation. Pourtant ils se présentent comme un puissant outil de clarification des difficultés des élèves liées aux formules semi-développée, développée, sans oublier la géométrie de la molécule. L'approfondissement de l'étude portant sur les amines, les amides, les acides

carboxyliques, les acides  $\alpha$ -aminés commence par une étude sur la nomenclature. Cette nomenclature permet à l'élève de se familiariser avec les corps qui interviendront au cours de l'apprentissage. En effet, cette nomenclature permet à l'enseignant de manière spécifique de circuler entre les niveaux de savoir. Par ailleurs, le niveau microscopique s'illustre dans le programme par l'étude des propriétés des acides par exemple la « déshydratation inter et intra moléculaire ». En effet, ce qui se passe à l'intérieur ou entre deux molécules relève du microscopique (invisible). Quant aux niveaux empirique et macroscopique, les concepts relatifs à ces niveaux sont évoqués au cours de la précision des tâches à réaliser au cours des expériences : par exemple le programme recommande de « Réaliser l'expérience de la lampe sans flamme puis, d'identifier les produits de cette réaction. ». Dans cette tâche, les concepts tels que « lampe, flamme... » Appartiennent au niveau empirique. Le terme « produits » appartient au niveau macroscopique. Concernant le niveau symbolique/visualisation qui est mis en évidence lors de l'écriture de l'équation bilan, il ne permet pas une mobilisation des connaissances aussi bien au niveau macroscopique qu'au niveau microscopique. Certains savoirs susceptibles de développer des compétences en rapport avec les finalités du programme ne sont pas bien formulés : c'est le cas de la saponification dont le programme recommande juste de « Décrire la fabrication du savon à partir du glycérol et un acide gras. ».

### **9-6-3 Le module 2 du programme de chimie de la classe de terminale C, D et E : présentation**

Le module 2 du programme de chimie est intitulé « acides et base ». Ce travail a commencé depuis la classe de seconde et se poursuit par l'étude des acides et bases en solution aqueuse, la force d'un acide ou d'une base, la notion de couple acide / base, ainsi que les réactions acides et bases et leur application aux dosages. Dans cet apprentissage, il est question pour l'élève non seulement de maîtriser la force et la réactivité des acides et bases, mais aussi d'étudier la préparation, le rôle et l'importance des solutions tampons. Ce module comprend trois parties (voir annexe 9) :

- les généralités sur les acides et bases en solution aqueuse ;
- la force d'un acide et d'une base notion de couple acide/base ;
- la réaction acide/base, application aux dosages. (Ministère des enseignements secondaires, 2020)

La première partie est appelée « généralités sur les acides et bases en solution aqueuse ». Dans cette partie, on retrouve la molécule d'eau, sa structure et son pouvoir solvant, l'autoprotolyse de l'eau, le produit ionique, le pH (définition, mesure, pH des solutions neutres, acides et basiques, l'utilisation du papier pH) et les indicateurs colorés. De manière spécifique, il est question pour l'élève d'écrire l'équation bilan de l'autoprotolyse de l'eau, de trouver les concentrations des ions en solution connaissant son pH, pK<sub>e</sub>, de savoir faire les approximations (espèces majoritaires, minoritaires, ultra minoritaires), de calculer le pH d'une solution donnée et d'en déduire son caractère acide, neutre ou basique, de préparer un indicateur coloré.

La deuxième partie est intitulée « force d'un acide et d'une base, notion de couple acide/base ». Dans cette partie, on retrouve l'étude du pH et la concentration d'une solution d'hydroxyde de sodium, la notion de base forte, le pH et la concentration d'une solution d'acide chlorhydrique, la notion d'acide fort, l'étude d'un acide faible (acide éthanóique), l'étude d'une base faible (éthanoate de sodium), l'étude de l'équilibre d'ionisation la notion de couple acide /base, la constante d'équilibre des réactions acide/base (la constante d'acidité K<sub>a</sub>, constante de basicité K<sub>b</sub>), la relation entre pH et pK<sub>a</sub>, la classification des couples acide/base et le domaine de prédominance des formes acide et basique. De manière spécifique, il est question pour l'élève de montrer la force de certains acides et de certaines bases, qu'un acide fort ou une base forte est totalement ionisé en solution à partir de la valeur de leur pH et de la concentration ; à travers l'étude d'un acide faible ou d'une base faible, de montrer que ces espèces chimiques ne sont pas totalement ionisées en solution en s'appuyant sur le pH et la concentration de la solution. Il est question de partir de la valeur du pH, et de la concentration de la solution, pour déterminer les concentrations des différentes espèces chimiques présentes en solution, de montrer que la dissolution dans l'eau d'un acide faible conduit à un équilibre chimique, d'utiliser la notion d'avancement d'une réaction pour étudier un équilibre chimique, d'identifier un couple acide/base à partir de l'équation matérialisant un équilibre chimique, de faire une classification des couples acide/base en fonction soit des K<sub>a</sub> ou des pK<sub>a</sub>, d'établir la relation entre pH et pK<sub>a</sub> et d'en déduire les domaines de prédominance des formes acide et basique, enfin, de déterminer le coefficient d'ionisation d'une substance donnée.

La troisième partie est intitulée « réactions acide/base et application aux dosages ». Dans cette dernière partie, on retrouve la réaction entre un acide fort et une base forte, l'étude de la réaction caractéristique, le dosage (pH- métrique et colorimétrique d'un acide fort par une base forte et réciproquement), l'écriture de l'équation-bilan de la réaction de dosage, la définition de

l'équivalence acido-basique, l'étude des solutions tampons (définition, propriétés, méthode de préparation et importance). De manière spécifique, l'élève est appelé à étudier la réaction entre une solution d'acide chlorhydrique et une solution de soude, une solution d'acide éthanóique et une solution d'hydroxyde de sodium, une solution d'acide chlorhydrique et une solution d'ammoniac, à étudier les variations du pH en fonction du volume de base ou d'acide versé, de tracer la courbe  $\text{pH} = f(V_a)$  ou  $\text{pH} = f(V_b)$ , de déterminer graphiquement le point de demi-équivalence, de déterminer graphiquement le point équivalent par la méthode des tangentes, d'exploiter la relation entre les quantités de matière à l'équivalence, de faire un choix judicieux de l'indicateur coloré, préparer une solution tampon de  $\text{pH} = \text{pK}_a$ .

#### **9-6-4 Analyse du module 2**

Ce module s'inscrit dans la continuité des cours introduits depuis la classe de seconde, où l'apprenant a renforcé ses connaissances sur les acides et bases, leur réactivité ainsi que leur importance. Ce module bien que fourni en termes d'activités expérimentales à mener en classe, ne spécifie pas le temps alloué à chaque partie. Comme dans tous les autres modules et programmes étudiés, la spécification des savoirs en termes de niveau demeure problématique. Pourtant les niveaux de savoirs sont bels et bien présents dans le programme mais sans spécification. De plus, les ressources sont bien mentionnées dans le programme. En effet, l'expérimentation prévue dans le programme devrait permettre à l'élève de faire des représentations au niveau macroscopique : c'est le cas par exemple des dosages colorimétriques, où l'élève a l'occasion de manipuler les substances chimiques et observer les changements de couleurs. Mais ils ne peuvent pas permettre à l'élève de s'imaginer ce qui pourrait se passer au niveau microscopique afin de les traduire par une équation bilan de réaction chimique. Dans ce module, on ne retrouve pas des concepts qui permettent d'expliquer ce qui se passe au niveau microscopique. Pourtant, sa compréhension profonde faciliterait le passage au niveau symbolique. De plus, les modèles qui sont généralement utilisés pour rendre compte de ce qui se passe au niveau microscopique ne sont pas mentionnés : on pourrait comprendre dans ce cas une nécessité du niveau microscopique dans ce module. Toujours dans ce module, les espèces chimiques en tant que concepts clés des différentes études, sont tous désignés par leurs noms scientifiques. Pourtant, un rappel constant du nom associé à la formule chimique faciliterait une mobilité entre les niveaux de savoir.

## **9-7 Le module 3 du programme de chimie de la classe de terminale C, D et E : présentation**

Le troisième module (Annexe 10) est intitulé « cinétique chimique ». Il est réparti sur 5 heures de cours, 2 heures de travaux pratiques et 3 heures de travaux dirigés. Le but principal de ce module est de permettre l'acquisition et la consolidation des savoirs, des savoir-faire et savoir-être relatifs à la cinétique chimique. Ce module comporte une seule partie appelée « notion de cinétique chimique ». Dans cette partie, on y retrouve les exemples de réactions (rapides, lentes et très lentes), la vitesse de réaction (vitesse de formation d'un produit, vitesse de disparition d'un réactif), l'influence de différents facteurs sur la vitesse d'une réaction (influence de la température, influence des concentrations), les catalyseurs (catalyse homogène, catalyse hétérogène, catalyse enzymatique, accélérateur de réaction, inhibiteur de réaction, quelques propriétés des catalyseurs), les applications à la réaction d'estérification et l'hydrolyse d'un ester. De manière spécifique, il est question pour l'élève de réaliser une réaction lente (formation de la rouille ou toute autre réaction de corrosion), de réaliser une réaction très lente, d'étudier d'autres réactions lentes, de tracer les courbes de formation des produits et de disparition des réactifs, de faire l'étude cinétique d'une réaction d'estérification, de montrer que l'on peut rapidement atteindre l'équilibre chimique en augmentant la température du milieu réactionnel en faisant intervenir un catalyseur approprié ou en faisant varier la concentration des réactifs, de faire l'étude de la réaction d'hydrolyse d'un ester, de montrer que lorsqu'on atteint l'équilibre chimique, les vitesses de formation et de disparition de l'ester se compensent.

### **9-7-1 Analyse du module 3**

Le programme de chimie de la classe de terminale se termine par le module 3. Dans ce module, l'approche expérimentale est fortement recommandée. De plus, les niveaux de savoir sont présents sans spécification. Par exemple on retrouve les concepts relevant du niveau macroscopique (réactifs, rouilles...), du niveau microscopique (les ions iodure et les ions peroxosulfate), et du registre symbolique (symbole de la vitesse), sans oublier l'approche expérimentale employée pour introduire le cours. De manière similaire aux autres modules, ce module ne prend pas en compte le niveau microscopique. Les symboles ne sont quasiment pas mentionnés dans le programme : ils sont pourtant incontournables dans la représentation des espèces chimiques. Il en est de même pour les modèles qui permettent de rendre compte de ce qui se passe dans chaque niveau de savoir. Aucune allusion n'est faite quant à la nomenclature

des concepts de l'étude : ces derniers seraient supposés comme des acquis du module précédent. Par ailleurs, la présence des concepts mathématiques (asymptote) dans le programme ne constitue pas des facteurs facilitant l'apprentissage. En effet, en regardant de près ce programme, on a l'impression qu'il s'agit d'un cours de mathématique bien qu'il regorge de concepts chimiques liés au niveau microscopique.

## **9-8- Bilan du lycée**

Les principales difficultés recensées sont :

- absence de spécification des savoirs en termes de niveaux de savoirs dans le programme pouvant favoriser l'usage unique d'un niveau délaissant les autres ;
- absence de travaux pratiques à cause d'une mauvaise planification des savoirs bien que les TP soient suggérés dans le programme ;
- difficulté liée à l'enchaînement des savoirs lorsqu'on passe d'un niveau d'étude à un autre ;
- passage brutal de l'expérience (vue le plus souvent théoriquement) à l'équation bilan de la réaction chimique sans modélisation ;
- les modèles apparaissent puis disparaissent lorsqu'on passe soit d'un module à un autre soit d'une classe à une autre ;
- les nouvelles espèces chimiques sont étudiées en fonction de l'évolution du niveau d'étude sans spécification au niveau de la nomenclature : en classe de première C et D par exemple, la nomenclature ne concerne que les composés oxygénés ;
- la non prise en compte des réalités sur le terrain en termes de matériel ;
- la structuration des contenus du programme ne permet pas à l'élève de mobiliser un regard double macroscopique/ microscopique.

## **9-9 Conclusion**

Ce chapitre a permis de regarder la structuration des niveaux de savoir dans le programme. Une présentation et une analyse des programmes relatifs à chaque niveau d'étude ont été réalisées. En effet, comme exemple d'origine des difficultés, les niveaux de savoir sont

introduits progressivement sans spécification. De plus, d'après nos analyses, lorsqu'on passe d'un niveau d'étude à un autre, les niveaux de savoir varient en fonction des objectifs du niveau d'étude mais ils ne sont jamais explicites. Certains niveaux de savoir sont plus présents que d'autre : c'est le cas du niveau macroscopique qui domine dans l'ensemble des programmes. Par ailleurs, les travaux pratiques sont quelquefois présents dans le programme sans ressources nécessaires à leurs réalisations : il revient à l'enseignant la lourde responsabilité de mettre en place ces différents travaux pratiques. Il est important non seulement de connaître les appréhensions des enseignants face aux niveaux de savoir, mais aussi s'ils sont conscients de la lourde tâche liée à la transposition didactique. A cet effet, une prise en compte préalable des appréhensions des enseignants face aux niveaux de savoir permettrait de mieux comprendre celles des élèves.

## CHAPITRE 10 : LES APPRÉHENSIONS DES ENSEIGNANTS SUR LES NIVEAUX DE SAVOIR

Ce chapitre présente un recueil des appréhensions des enseignants face aux niveaux de savoir. Ce recueil a été réalisé *via* un questionnaire adressé à dix enseignants. Nous présentons tout d'abord les caractéristiques des enseignants puis, les résultats du questionnaire. Le questionnaire est structuré en trois parties : une première partie qui porte sur les appréhensions des enseignants concernant le macroscopique, le microscopique et le symbolique, une deuxième partie qui concerne la vision des enseignants sur la place des niveaux de savoir dans le programme de chimie au Cameroun et une troisième partie qui porte sur l'appréhension des enseignants sur l'expérimentation (niveau empirique) ainsi que sa place dans l'apprentissage en relation avec les autres niveaux de savoir. Les résultats de chacune des questions sont présentés, puis analysés. Les propos des enseignants ont quelquefois été retranscrits afin d'illustrer leurs réponses.

### 10-1 Caractéristiques des enseignants

Le tableau 6 présente le nombre d'enseignants ayant répondu au questionnaire.

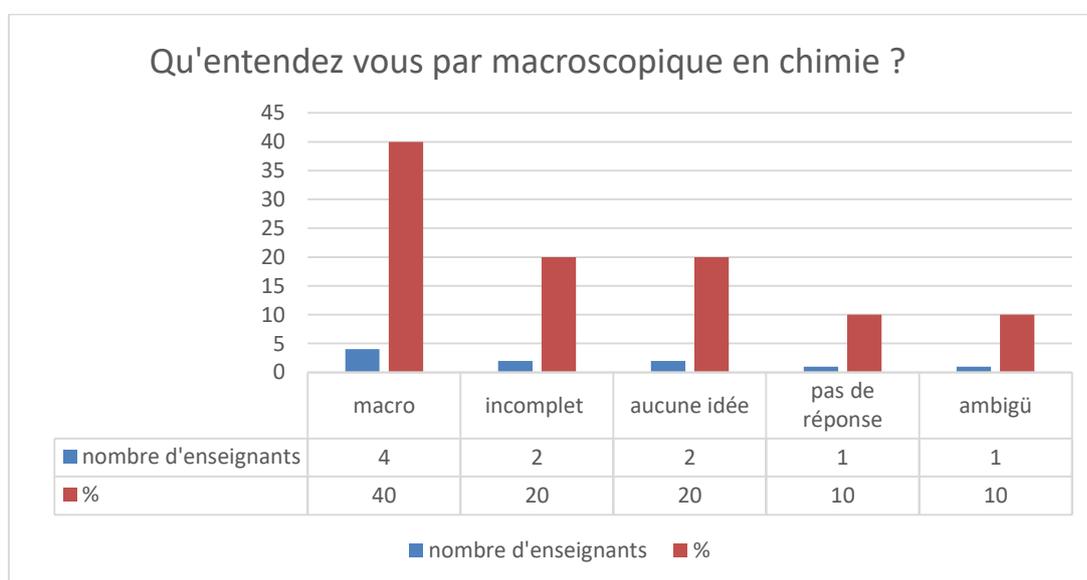
**Tableau 6 : Caractéristiques des enseignants.**

Enseignant	Établissement	Discipline	Sexe	Âge	Années d'expérience
Enseignant 1	Lycée bilingue de Nkol-eton	Chimie	Masculin	50	25
Enseignant 2	Lycée bilingue de Nkol-eton	Chimie	Masculin	56	30
Enseignant 3	Lycée bilingue de Nkol-eton	Chimie	Masculin	41	14
Enseignant 4	Lycée bilingue de Nkol-eton	Chimie	Masculin	40	15
Enseignant 5	Lycée bilingue de Nkol-eton	Chimie	Masculin	40	15

Enseignant 6	Lycée bilingue de Nkol-eton	Chimie	Masculin	40	3
Enseignant 7	Lycée bilingue de Nkol-eton	Chimie	Féminin	36	10
Enseignant 8	Lycée bilingue de Nkol-eton	Chimie	Masculin	36	14
Enseignant 9	Lycée bilingue de Nkol-eton	Chimie	Masculin	36	9
Enseignant 10	Lycée bilingue de Nkol-eton	Chimie	Féminin	32	3

D'après le tableau 6, tous les enseignants interrogés ont reçu une formation de base en enseignement de la chimie. Ces enseignants ont des expériences variables. Nous avons choisi à la fois les enseignants des deux sexes, puisque la chimie, comme toute autre matière est accessible et enseignée par des individus de sexes différents.

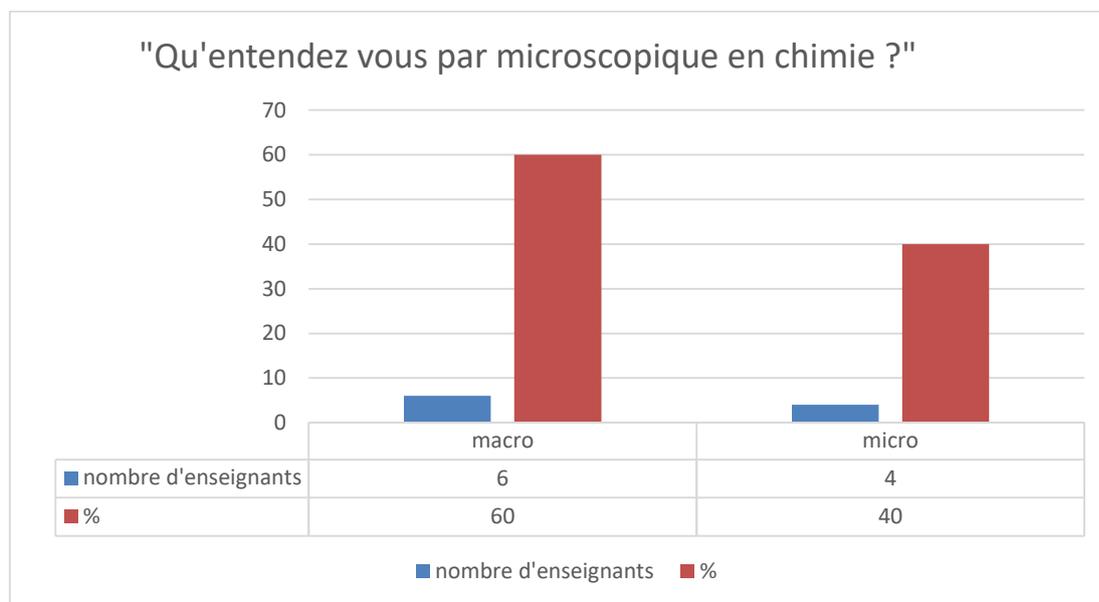
## 10-2 Résultats et analyses des trois premières questions



**Graphique 1 : les appréhensions des enseignants sur le macroscopique**

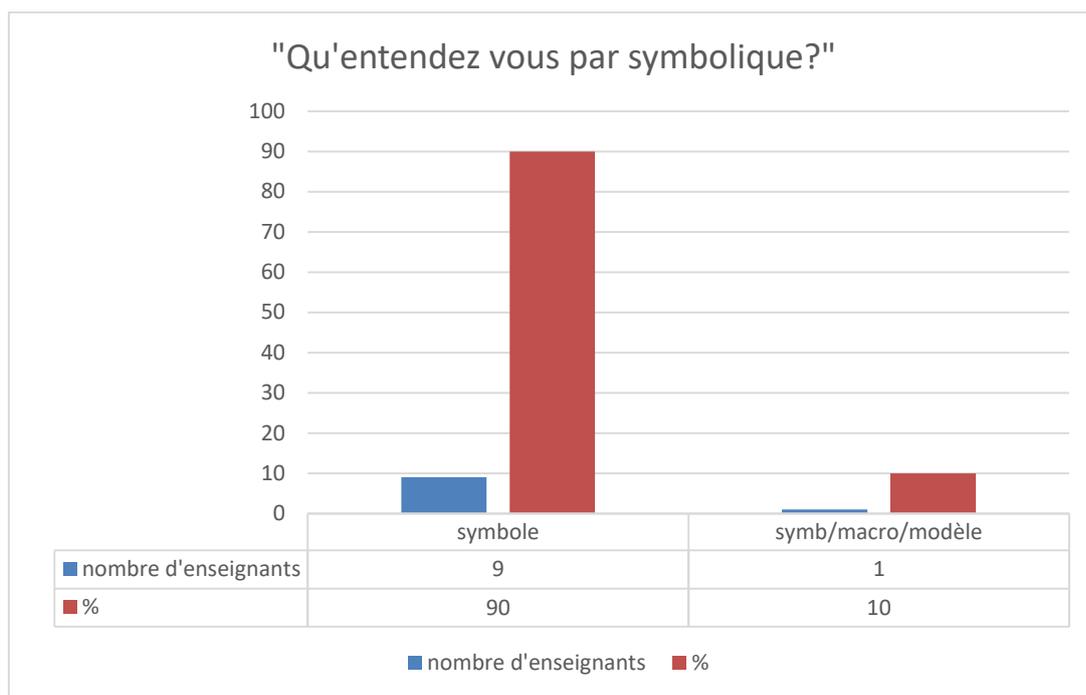
D'après le graphique 1, 40% des enseignants proposent soit « grande échelle », « visible ». 20% proposent des réponses incomplètes. Un exemple de réponse « incomplète »

proposée est : « *c'est une partie de la chimie* ». 20% des enseignants affirment qu'ils n'ont « *aucune idée* ». 10% ne proposent aucune réponse. Enfin, on note 10% de réponses ambiguës (« *c'est une échelle de mesure des particules* »). La faible proportion des enseignants qui donnent une réponse correcte illustre que ces derniers ne sont pas en mesure d'expliquer correctement le macroscopique.



## Graphique 2 : les appréhensions des enseignants sur le microscopique

Le deuxième graphique présente les appréhensions des enseignants sur le microscopique. En effet, 60% des enseignants donnent des réponses ayant trait au macroscopique. Un exemple de réponse proposée est « *des êtres observables au microscope* ». Cette réponse est donc incorrecte puisqu'elle relève du macroscopique. 40% des réponses proposées sont correctes. Comme exemple de réponse correcte nous trouvons : « *ce qui n'est pas perceptible à l'œil nu* ». Cette dernière réponse est correcte puisque tout ce qui est « micro » est petit, donc non perceptible à l'œil. En résumé, les enseignants n'ont pas tous une bonne appréhension du microscopique. On note quelques confusions dans leurs réponses qui ne permettent pas d'appréhender clairement leurs idées.



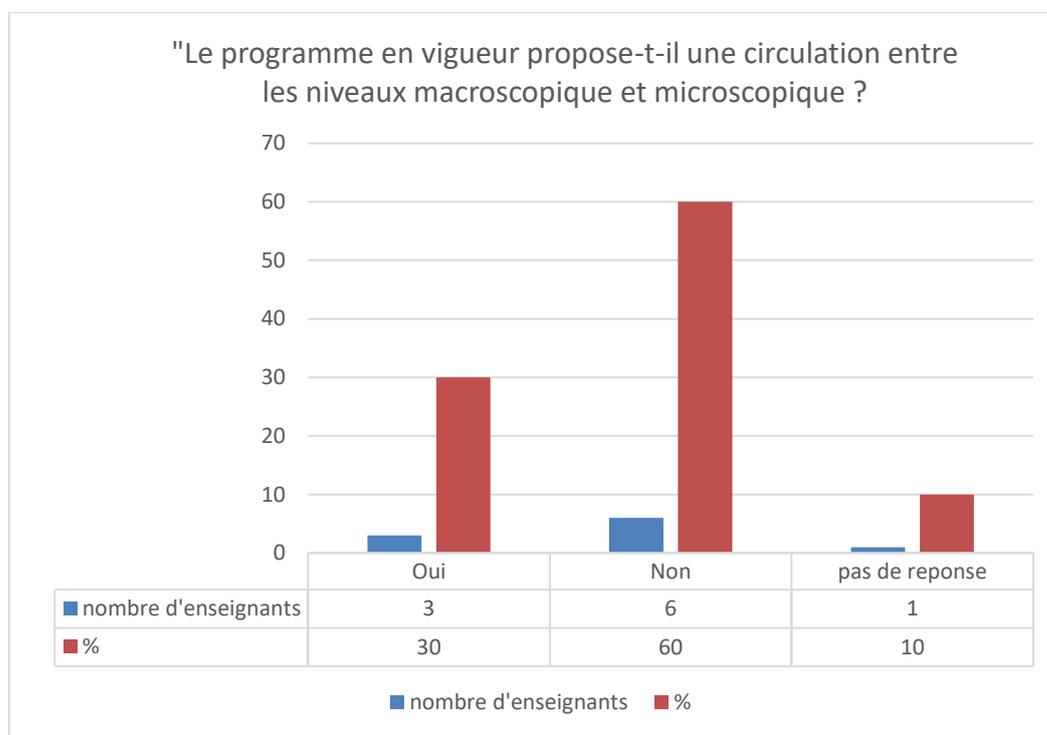
**Graphique 3 : les appréhensions des enseignants sur le symbolique**

Le graphique 3 présente les appréhensions des enseignants sur le symbolique. D'après ce graphique, seules deux catégories de réponses sont enregistrées. 90% de réponses pour une bonne appréhension du symbolique sont observées, et 10% des réponses ayant un rapport avec le niveau symbolique, macroscopique et les modèles le sont. Intéressons-nous aux exemples de réponses. Presque tous les enseignants affirment qu'il s'agit des « *symboles* ». Un enseignant propose cette réponse : « *les représentations visibles, les formules et les modèles* ». Cette réponse est porteuse de nombreuses informations mais toutes ne sont pas exactes pour cette question, par exemple, les modèles ne font pas partie du symbolique.

Ces trois premières questions semblent nous indiquer les lacunes des enseignants face aux niveaux macroscopique et microscopique. Le niveau symbolique semble mieux être perçu par ces derniers.

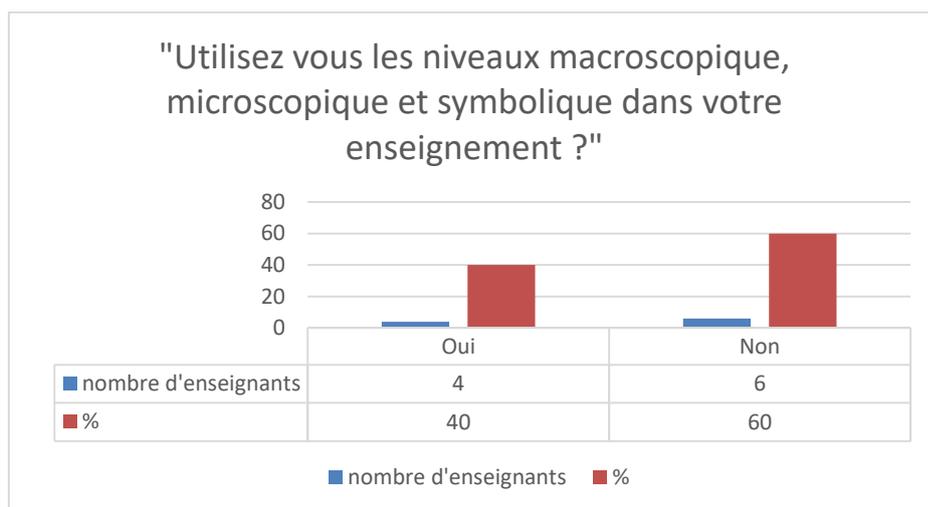
Le deuxième groupe de question s'intéresse à la place des niveaux de savoir dans le programme de chimie au Cameroun.

### 10-3 La place des niveaux de savoir dans le programme de chimie : résultats et analyses



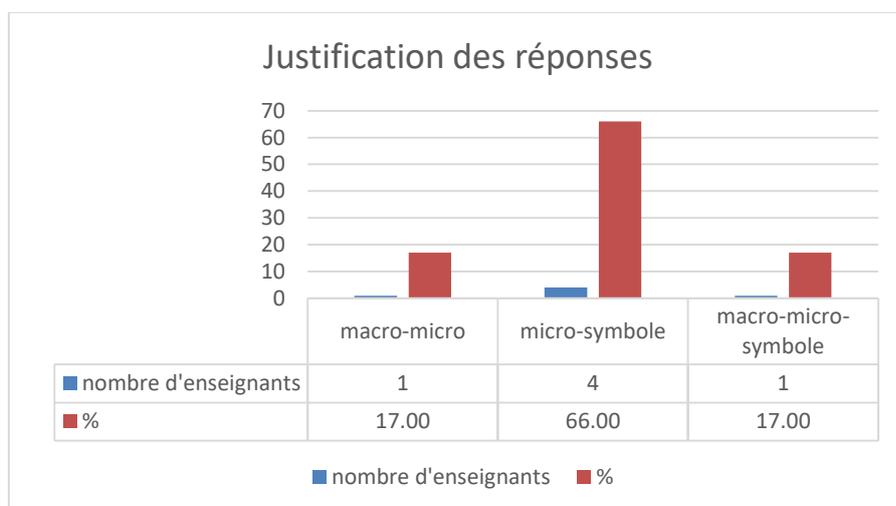
**Graphique 4 : Place des niveaux de savoir dans le programme de chimie**

D'après le graphique 4, 30% des enseignants pensent que le programme propose une circulation entre les niveaux de savoir. 60% des enseignants pensent le contraire. Tous les enseignants qui répondent par un « oui » donnent une bonne justification. Un exemple de réponse proposée est « *oui car à partir des expériences conduites en TP, le lien entre le macro et le micro est plus étroit* ». Cinq enseignants qui répondent par un « non » donnent une justification correcte. Un exemple de réponse proposée est : « *Non car ces termes macroscopique ne figure nulle part dans le programme* ». En effet, les programmes ne spécifient pas explicitement les niveaux de savoir mais ces derniers peuvent être sous-entendus, les enseignants peuvent donner des justifications correctes quel que soit leur réponse. Enfin, un enseignant répond par « non » mais ne donne pas de justification. Ce graphique semble indiquer la diversification des points de vue des enseignants concernant les programmes. Intéressons-nous aux pratiques de classes.



**Graphique 5 : Place des niveaux de savoir dans le programme de chimie**

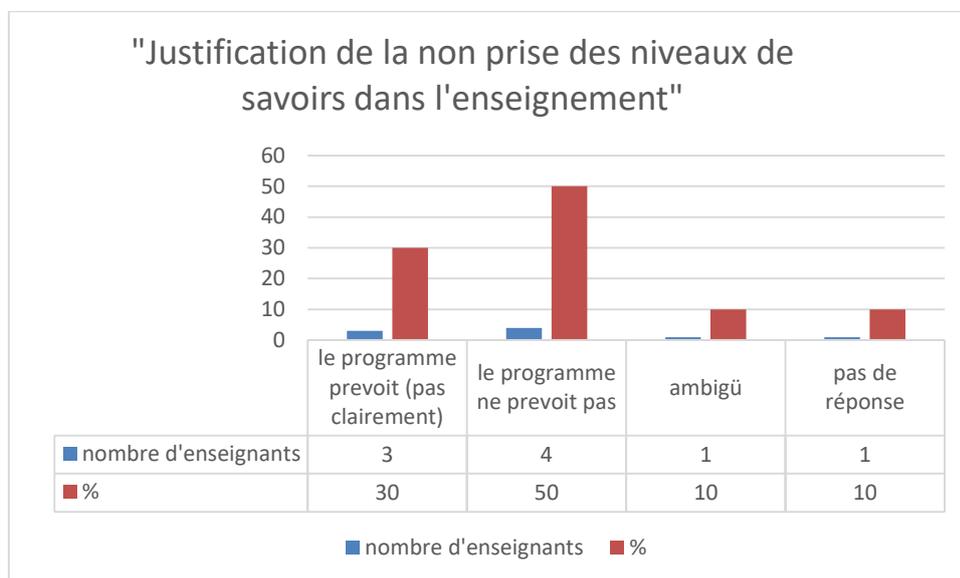
D'après le graphique 5, 40% des enseignants indiquent qu'ils utilisent les niveaux de savoir au cours de leur enseignement, et 60% ne le font pas. Intéressons-nous aux exemples de justification.



**Graphique 6 : Place des niveaux de savoir dans le programme de chimie : justification des réponses**

17% des enseignants donnent une justification en employant les niveaux macroscopique et microscopique, 66% des enseignants justifient leurs réponses en employant les niveaux microscopique et symbolique et 17% donne une justification en employant les trois niveaux de savoir à la fois. Les justifications semblent correctes dans l'ensemble. Par exemple, un enseignant propose : « *Quand on parle de l'atome de soufre aux élèves, on écrit la formule*

chimique "S", le "S" est le symbole du soufre ». Cette dernière réponse illustre clairement le registre symbolique. Regardons la raison qui expliquerait la non prise en compte des niveaux de savoir au cours des enseignements.

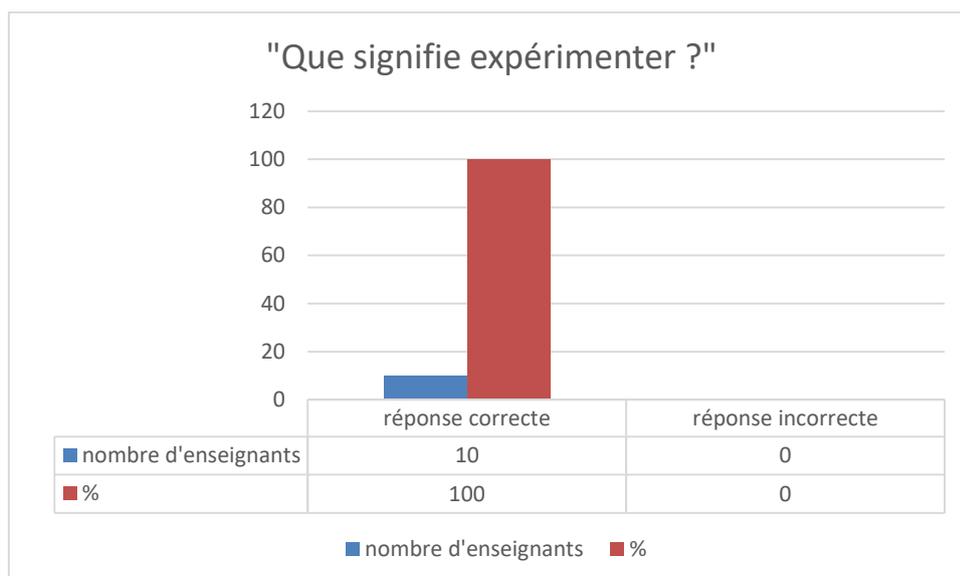


**Graphique 7 : Justification de la non prise en compte des niveaux de savoir dans l'enseignement**

D'après le graphique 7, 30% des enseignants pensent que le programme prévoit (pas clairement) les niveaux de savoir, 50% des enseignants pensent que le programme ne prévoit pas les niveaux de savoir, 10% donnent une réponse ambiguë et 10% ne propose pas de réponse. Parmi les réponses des enseignants, 30% sont correctes (le programme prévoit), 50% des réponses sont incorrectes (le programme ne prévoit pas). Les deux autres réponses sont soit incorrectes soit ambiguës. La plupart des enseignants ne sont pas conscients de la place des niveaux de savoir dans le programme et semblent ne pas en tenir compte dans leurs enseignements.

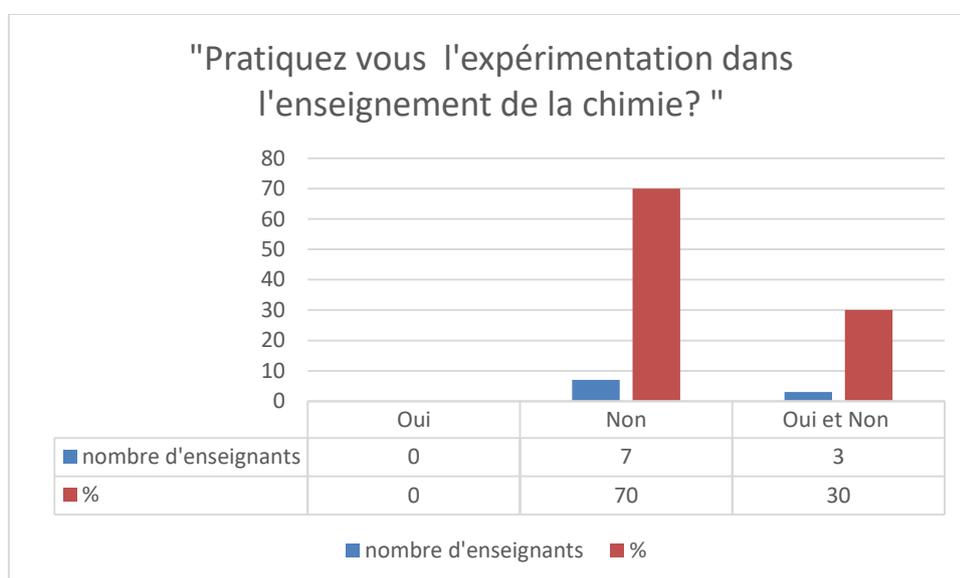
#### **10-4 Les appréhensions des enseignants sur l'expérimentation et impact sur la distinction des niveaux de savoir**

On a souhaité prendre en compte les appréhensions des enseignants sur l'expérimentation puisque sa mise en place fait intervenir les niveaux de savoir. La question suivante concerne les appréhensions des enseignants sur l'expérimentation. Le graphique 8 présente les résultats obtenus.



**Graphique 8 : Appréhension des enseignants sur l'expérimentation**

Tous les enseignants interrogés sur l'expérimentation donnent une réponse correcte. Un enseignant propose la réponse ci-après : « *Une expérimentation permet de tester une hypothèse théorique, de manipuler les objets* ». On regardera dans la suite si ces derniers intègrent cela dans leurs pratiques de classe.

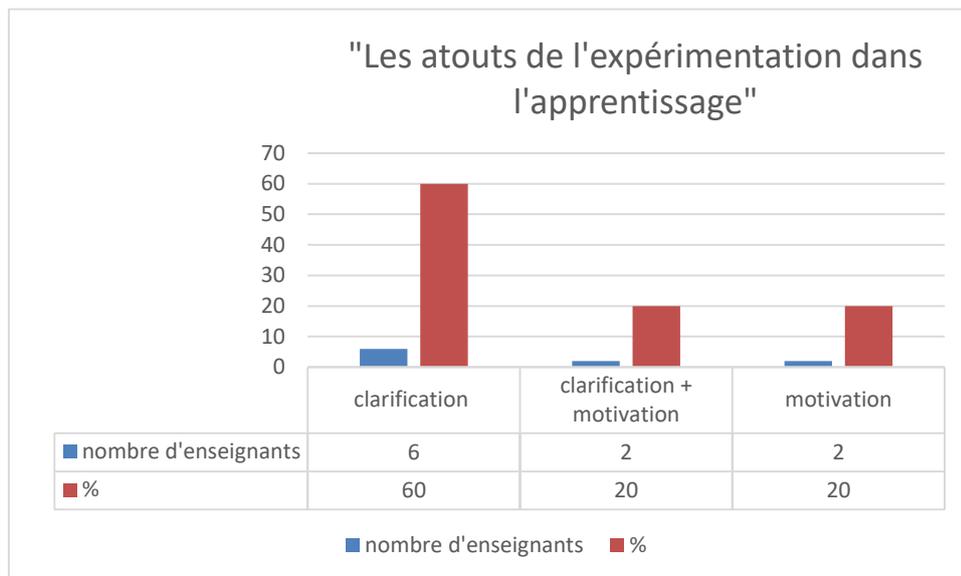


**Graphique 9 : Place de l'expérimentation dans l'enseignement**

Parmi les enseignants qui définissent clairement l'expérimentation, aucun n'affirme qu'il utilise cela dans l'enseignement. 70% affirment qu'ils ne l'utilisent pas et 30% répondent

par oui et non à la fois. Par la suite, on veut savoir si l'expérimentation présente un atout dans l'apprentissage pour les enseignants.

Tous les enseignants interrogés affirment que l'expérimentation est un atout pour l'apprentissage. En effet, le graphique 10 apporte quelques précisions sur les atouts de l'expérimentation.

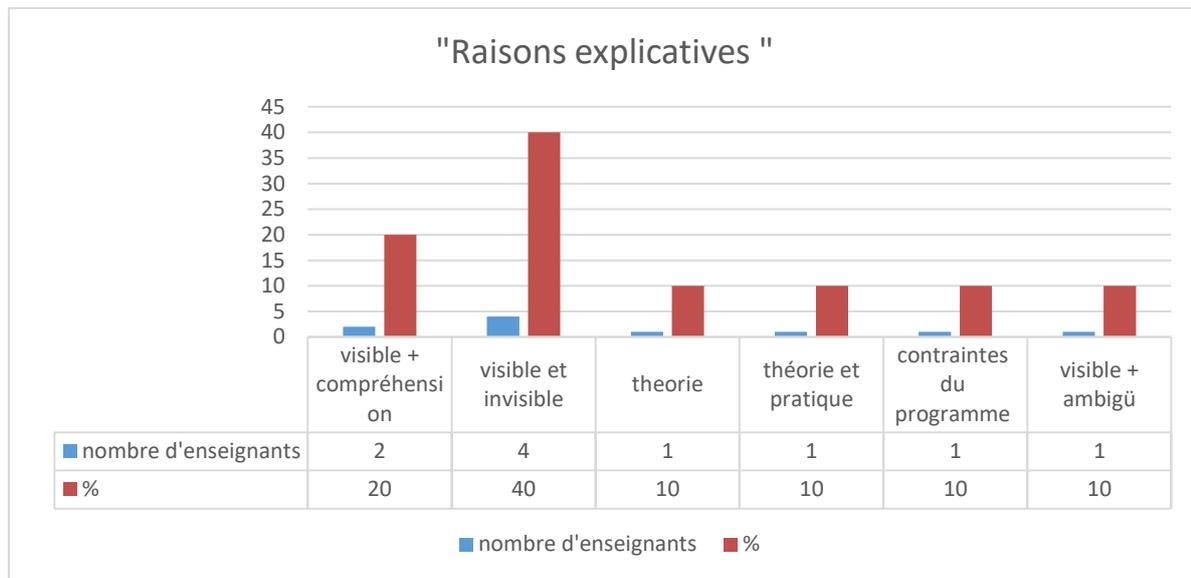


**Graphique 10 : Les atouts de l'expérimentation dans l'apprentissage**

D'après le graphique 10, 60% des enseignants pensent que l'expérimentation permet de clarifier les notions. 20% des enseignants associent la clarification à la motivation, enfin 20% des enseignants pensent à la motivation. Les dix enseignants interrogés donnent une bonne justification. Cependant, lorsqu'on demande à ces derniers les raisons qui expliqueraient la non prise en compte de l'expérimentation dans l'enseignement, un seul enseignant répond et indique le manque de matériel. Nous regardons maintenant l'impact de l'expérimentation sur la distinction des niveaux de savoir pour ces enseignants.

90% des enseignants pensent que l'expérimentation pourrait permettre de distinguer les niveaux de savoir. 10% des enseignants répondent par « *oui et non* ». Les 90% des enseignants ayant répondu par « *oui* », donnent une justification correcte. Les 10% restant ne donnent pas de justification.

Regardons les niveaux de savoir contenus dans les justifications (graphique 11).



**Graphique 11 : Raisons explicatives à la question précédente**

D'après le graphique 11, les enseignants pensent que l'expérimentation aurait un impact sur la distinction des niveaux de savoirs. En effet, 20% des enseignants pensent que l'expérimentation permet de voir et de comprendre, 40% pensent que l'expérimentation permet de distinguer le visible de l'invisible, 10% des enseignants pensent que l'expérimentation permet de mieux expliquer la théorie, 10% des enseignants affirment que l'expérimentation permet de lier la théorie à la pratique. Un enseignant parle des contraintes du programme. Un enseignant donne une réponse ambiguë, mais qui relève du fait que l'expérimentation permet de voir. En dehors de l'expérimentation comme atout de distinction des niveaux de savoir dans le programme, trois autres enseignants proposent les justifications ci-après : un premier revient sur le fait que seule l'expérimentation peut permettre la distinction des niveaux de savoir tandis que deux autres s'intéressent aux précisions dans le programme. Comme exemple de réponse, un des deux enseignants affirme : « *Il faut juste que le professeur précise à chaque fois aux élèves le macroscopique ou le microscopique, ce qui ne fait pas partie des recommandations et des exigences du programme* ». D'après cette dernière réponse, le programme reste le seul guide de l'enseignement.

## 10-5 Conclusion

Ce chapitre a porté sur les appréhensions des enseignants concernant les niveaux de savoir, la place des niveaux de savoir dans le programme et leur enseignement et enfin l'impact que pourrait avoir les activités expérimentales sur la distinction des niveaux de savoir. En effet, les analyses indiquent que seul le niveau symbolique semble ne pas causer de soucis aux enseignants contrairement aux deux autres niveaux où l'on observe seulement 40% de réponses correctes. Concernant la place des niveaux de savoir dans le programme, les avis divergent : pour certains le programme les prévoit, pour d'autres le programme ne les prévoit pas. Pour réponse claire à cette question, nous avons réalisé une analyse du programme de chimie dans la partie précédente. Cette analyse a permis de voir que les niveaux de savoir sont effectivement présents dans le programme mais sans spécification explicite. Or la plupart des savoirs en chimie est véhiculée dans des niveaux de savoir : quelques enseignants interrogés soutiennent ce point de vue. Par ailleurs, les avis des enseignants divergent sur la place de l'expérimentation dans l'enseignement de la chimie. Pourtant, au chapitre 9, nous avons montré que l'expérimentation fait partie du programme de chimie. Cependant, le problème majeur de l'expérimentation dans le programme se pose au niveau de sa description en termes de tâche à réaliser. Les enseignants sont conscients de l'impact positif que pourrait avoir l'expérimentation sur la distinction des niveaux de savoir, cependant très peu d'enseignants font des expérimentations en classe souvent par manque de matériel, ce qui ne facilite pas la distinction des niveaux de savoir.

Ces analyses préalables étaient nécessaires pour des clarifications concernant les niveaux de savoir dans le programme de chimie, et les appréhensions des enseignants. Le chapitre suivant s'intéresse aux différentes analyses des appréhensions des élèves sur les niveaux de savoir.

## CHAPITRE 11 : RÉSULTATS ET ANALYSES *A PRIORI*

Ce chapitre comporte les résultats issus du prétest. Pour y parvenir, un test statistique permet de répartir les élèves dans deux groupes, groupes expérimental et témoin (cf. chapitre 7 méthodologies). Par la suite, on explicitera les résultats des tests qui montrent que les groupes sont homogènes. Une fois les groupes constitués, on présentera les résultats pour chacune des classes en procédant question après question, puis on analysera chacune de ces questions par la suite. Ce chapitre se clôture par une implication des analyses *a priori* dans la recherche, ce qui répond à la question secondaire de recherche (les origines des difficultés qu'éprouvent les élèves au cours de la circulation entre les niveaux de savoir). Les propos de élèves ont été retranscrits afin d'illustrer leurs réponses durant les différentes analyses.

### 11-1 Le prétest : test d'homogénéité des échantillons

Comme précisé dans la partie destinée à la méthodologie de l'étude (partie 3), les élèves ont réalisé un prétest qui a permis de diviser la classe en deux (classe expérimentale et classe témoin) et ceci pour chacune des classes concernées (Tle C, Tle D1, Tle D2). Pour y parvenir, les élèves ont subi un prétest noté sur 11 points (voir annexes 12, 13 et 14). Les scores obtenus ont permis de répartir les élèves dans l'un des deux groupes. Dans un premier temps, on se limitera juste aux scores pour la constitution des groupes. L'exploration approfondie des réponses des élèves sera faite par la suite. Nous voulons montrer que les paramètres tels que le sexe et l'âge n'influencent pas les résultats de la recherche. Nous présentons premièrement la répartition globale des élèves en fonction de l'âge et du sexe dans chacune des classes, deuxièmement le test de Fisher pour chaque classe, troisièmement, le test t de student permet de confirmer davantage l'homogénéité des groupes.

Pour chacune des classes nous acceptons l'hypothèse selon laquelle il n'y pas d'influence lorsque  $F_{\text{calculé}} < F_{\text{théorique}}$  au seuil de 5%. Dans le cas contraire nous rejetons l'hypothèse.

**Tableau 7 : Répartition des élèves en fonction du sexe**

	Féminin	Masculin
Tle C	12	32
Tle D <sub>1</sub>	10	18
Tle D <sub>2</sub>	20	14

Le tableau 7 présente la répartition des élèves dans chacune des classes en fonction du sexe. Le test d'ANOVA permet de vérifier l'homogénéité avant la répartition dans les différents groupes (expérimentaux et témoins).

**Tableau 8 : Test d'homogénéité du sexe Tle C**

Source de la variance	Somme des carrés des écarts	Degrés de liberté	Variance	F <sub>calculé</sub>	Probabilité	F <sub>théorique</sub> Marge d'erreur 5%
Inter classe	1,09112554	1	1,09112554	0,35037417	0,55707453	4,07265376
Intra classe	130,795238	42	3,11417234			

D'après le tableau 8, nous avons  $F_{\text{calculé}} < F_{\text{théorique}}$ . Donc l'hypothèse selon laquelle le sexe n'a pas d'influence est acceptée en classe de terminale C.

**Tableau 9 : Test d'homogénéité du sexe Tle D<sub>1</sub>**

Source de la variance	Somme des carrés des écarts	Degrés de liberté	Variance	F <sub>calculé</sub>	Probabilité	F <sub>théorique</sub> Marge d'erreur 5%
Inter classe	13,4126984	1	13,4126984	3,27617059	0,08186709	4,22520127
Intra classe	106,444444	26	4,09401709			

D'après le tableau 9, nous avons  $F_{\text{calculé}} < F_{\text{théorique}}$ . Donc l'hypothèse selon laquelle le sexe n'a pas d'influence est acceptée en classe de terminale D<sub>1</sub>.

**Tableau 10 : Test d'homogénéité du sexe Tle D<sub>2</sub>**

Source de la variance	Somme des carrés des écarts	Degrés de liberté	Variance	F <sub>calculé</sub>	Probabilité	F <sub>théorique</sub> Marge d'erreur 5%
Inter classe	0,57521008	1	0,57521008	0,19313057	0,66327735	4,14909745
Intra classe	95,3071429	32	2,97834821			

D'après le tableau 10, nous avons  $F_{\text{calculé}} < F_{\text{théorique}}$ . Donc l'hypothèse selon laquelle le sexe n'a pas d'influence est acceptée en classe de terminale D<sub>2</sub>. Regardons le cas des âges.

**Tableau 11 : Répartition des élèves dans les différentes classes en fonction de la tranche d'âge**

Classes	Tranches d'âge	Effectifs
Tle C	15-17	28
	18-20	15
	20-21	1
Tle D <sub>1</sub>	15-17	6
	18-20	16
	20-21	6
Tle D <sub>2</sub>	15-17	2
	18-20	27
	20-21	5

Le tableau 11 présente la répartition des élèves en fonction de la tranche d'âge. Réalisons le test de Fisher (ANOVA).

**Tableau 12 : Test d'homogénéité en fonction des âges Tle C**

Source de la variance	Somme des carrés des écarts	Degrés de liberté	Variance	F <sub>calculé</sub>	Probabilité	F <sub>théorique</sub> Marge d'erreur 5%
Inter classe	20,0649351	2	10,0324675	3,22568384	0,03393637	3,67846462
Intra classe	111,821429	41	2,72735192			

D'après le tableau 12, nous avons  $F_{\text{calculé}} < F_{\text{théorique}}$ . Donc l'hypothèse selon laquelle l'âge n'a pas d'influence est acceptée en classe de terminale C.

**Tableau 13 : Test d'homogénéité en fonction des âges Tle D<sub>1</sub>**

Source de la variance	Somme des carrés des écarts	Degrés de liberté	Variance	F <sub>calculé</sub>	Probabilité	F <sub>théorique</sub> Marge d'erreur 5%
Inter classe	5,58630952	2	2,79315476	0,61108217	0,55067254	3,38518996
Intra classe	114,270833	25	4,57083333			

D'après le tableau 13, nous avons  $F_{\text{calculé}} < F_{\text{théorique}}$ . Donc l'hypothèse selon laquelle l'âge n'a pas d'influence est acceptée en classe de terminale D<sub>1</sub>.

**Tableau 14 : Test d'homogénéité en fonction des âges Tle D<sub>2</sub>**

Source de la variance	Somme des carrés des écarts	Degrés de liberté	Variance	F <sub>calculé</sub>	Probabilité	F <sub>théorique</sub> Marge d'erreur 5%
Inter classe	13,21939	2	6,60969499	2,47874668	0,10031605	3,30481725
Intra classe	82,662963	31	6,60969499			

D'après le tableau 14, nous avons  $F_{\text{calculé}} < F_{\text{théorique}}$ . Donc l'hypothèse selon laquelle l'âge n'a pas d'influence est acceptée en classe de terminale D<sub>2</sub>. Le test statistique utilisé pour confirmer davantage l'homogénéité des groupes est le test t de student. Les hypothèses suivantes ont été établies :

- $H_0$  : Moyenne  $X_1$  = Moyenne  $X_2$
- $H_1$  : Moyenne  $X_1$   $\neq$  Moyenne  $X_2$
- Le seuil de significativité retenu est de 5%
- On accepte  $H_0$  si T calculé est inférieur à T lu

$X_1$  et  $X_2$  représentent les moyennes des groupes constitués (groupe expérimental, groupe témoin)

Le tableau 15 regroupe les résultats obtenus :

**Tableau 15 : récapitulatif des résultats du test t de student pour chacune des classes étudiées**

Classe	Tle C	Tle D <sub>1</sub>	Tle D <sub>2</sub>
Degré de liberté (ddl)	22	14	17
T de student calculé	0,42629072	0	0,19827264
T de student lu	2,07961384	2,16036866	2,1199053

D'après le tableau 15, pour chacune des classes étudiées, le  $t$  de student calculé est inférieur à  $t$  de student lu. Ce qui signifie que l'hypothèse  $H_0$  est acceptée : les groupes constitués sont homogènes. Les groupes étant homogènes, les élèves sont répartis dans les classes tel qu'indiqué dans le tableau 16.

**Tableau 16 : Répartition des élèves selon l'âge et le sexe dans les classes constituées (Tle C)**

	Tle C expérimentale		Tle C théorique		Total	Fréquence
	Sexe		Sexe			
Âges	Féminin	Masculin	Féminin	Masculin		
15-17	5	11	4	8	28	63,64%
18-20	1	4	2	8	15	34,9%
20-21	0	1	0	0	1	2,27%
Total	6	16	6	16	44	100%

D'après le tableau 16, chacune de classes constituées à l'issue du prétest contient 6 filles et 16 garçons, répartis entre les tranches d'âge 15-17 ans, 18-20 ans et 20-21 ans. Les élèves ayant une tranche d'âge compris entre 15 et 17 ans ont la fréquence la plus élevée. Ceux de la tranche compris entre 20-21 ans ont la fréquence la plus basse.

**Tableau 17 : Répartition des élèves selon l'âge et le sexe dans les classes constituées (Tle D<sub>1</sub>).**

	Tle D <sub>1</sub> expérimentale		Tle D <sub>1</sub> théorique		Total	Fréquence
	Sexe		Sexe			
Âges	Féminin	Masculin	Féminin	Masculin		
15-17	1	1	1	3	6	21,43%
18-20	2	7	2	5	16	57,14%
20-21	2	1	2	1	6	21,43%
Total	5	9	5	9	28	100%

D'après le tableau 17, chacune des classes constituées à l'issue du prétest contient 5 filles et 9 garçons, répartis entre les tranches d'âges 15-17 ans, 18-20 ans et 20-21 ans. Les élèves ayant une tranche d'âge compris entre 18 et 20 ans ont la fréquence la plus élevée. Ceux de la tranche compris entre 15-17 ans, 20-21 ans ont une fréquence identique.

**Tableau 18 : Répartition des élèves selon l'âge et le sexe dans les classes constituées (Tle D<sub>2</sub>)**

	Tle D <sub>2</sub> expérimentale		Tle D <sub>2</sub> théorique		Total	Fréquence
	Sexe		Sexe			
Âges	Féminin	Masculin	Féminin	Masculin		
15-17	0	0	1	1	2	5,88%
18-20	9	6	6	6	27	79,41%
20-21	1	1	3	0	5	14,71%
Total	10	7	10	7	34	100%

D'après le tableau 18, chacune des classes constituées à l'issue du prétest contient 10 filles et 7 garçons, répartis entre les tranches d'âges 15-17 ans, 18-20 ans et 20-21 ans. Les élèves ayant une tranche d'âge compris entre 18 et 20 ans ont la fréquence la plus élevée. Ceux de la tranche compris entre 20-21 ont la fréquence la plus basse.

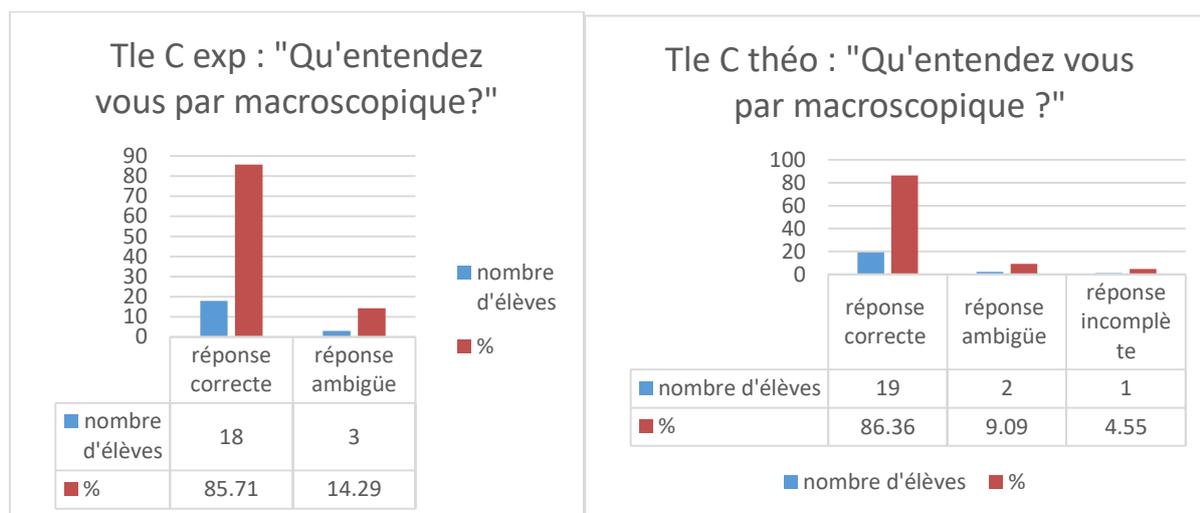
## 11-2 Résultats des analyses *a priori* du prétest

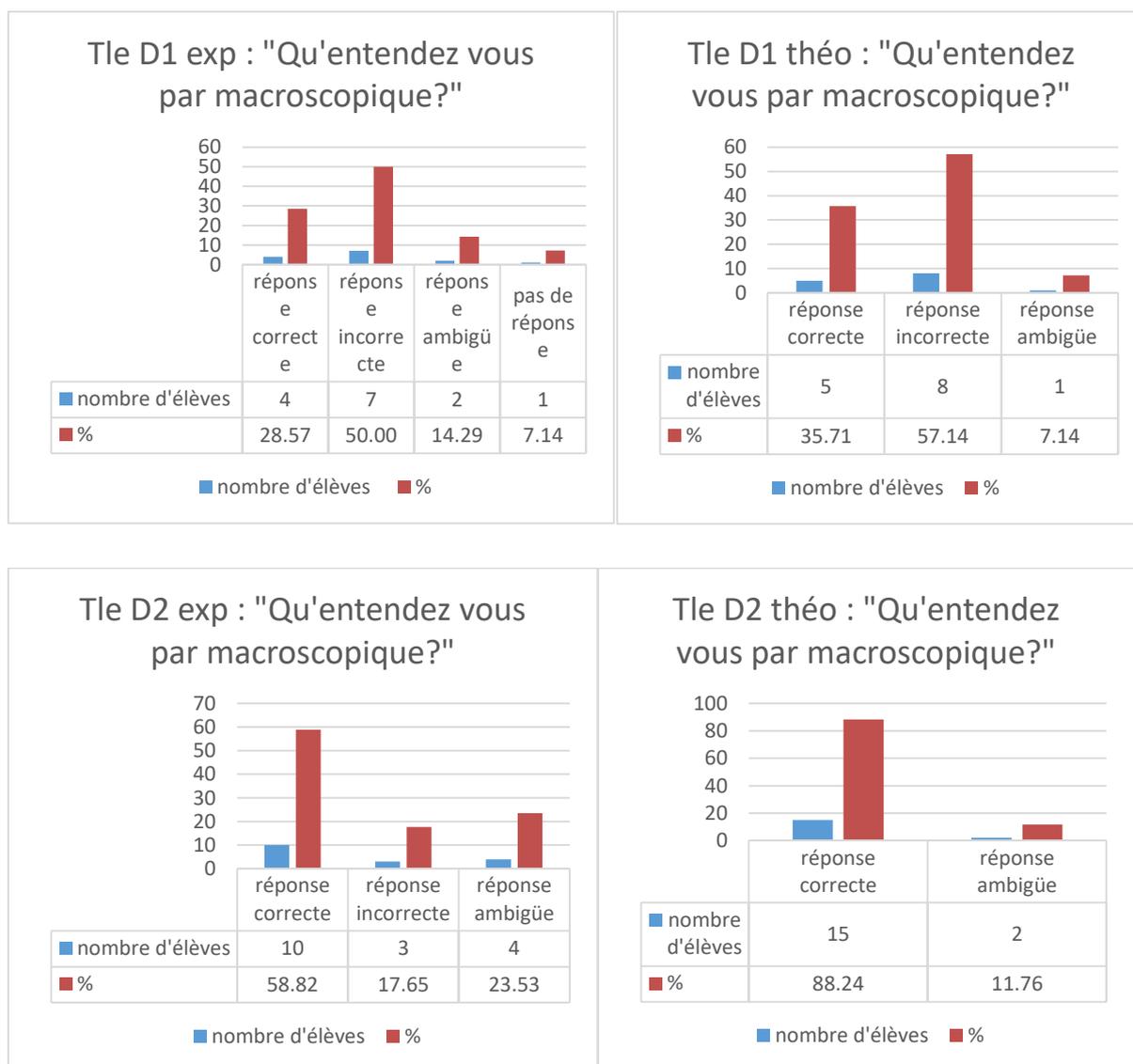
Trois documents sont proposés aux élèves dans un premier temps : une photographie d'une solution de sulfate de cuivre, une photographie de sulfate de cuivre solide, ainsi que l'équation bilan de sa dissolution. Les élèves doivent s'appuyer sur ces documents pour répondre aux questions (1, 1-1, 2, 2-1, 3, 3-1) (voir partie 3). Dans un second temps les élèves doivent choisir les bonnes réponses parmi celles proposées (question 4, 5 et 6). Dans un troisième temps, les élèves doivent répondre à la question numéro 7 qui porte sur la saponification. Concernant les exemples de réponses, puisqu'ils sont similaires lorsqu'on passe d'une classe à une autre, afin d'éviter la répétition, nous avons choisi la classe de terminale C comme classe pilote à partir de laquelle nous illustrerons les exemples de l'ensemble des

classes. Nous avons retranscrit les réponses des élèves tels qu'ils les ont écrites (c'est-à-dire en laissant les fautes).

### 11-2-1 Résultats des analyses *a priori* de la première question pour l'ensemble des classes : « Qu'entendez-vous par macroscopique ? »

La première question porte sur les appréhensions des élèves sur les niveaux de savoir : « Qu'entendez-vous par macroscopique ? ». On veut voir si l'élève connaît le terme macroscopique. De manière spécifique, s'il utilise les termes comme : solide, liquide, visible, toucher, grand ... Les réponses obtenues ont été regroupées en catégorie (macro, micro, symbole) tel qu'indiqué dans la méthodologie de l'étude (partie 3). On s'intéresse aux réponses proposées (correcte, incorrecte ou incomplète) pour chacun des six groupes (Terminale C expérimentale, Terminale C théorique, Terminale D1 expérimentale, Terminale D1 théorique, Terminale D2 expérimentale, Terminale D2 théorique). Les graphiques présentant les résultats sont décrits puis analysés par la suite.





**Graphique 12 : Résultats de la première question pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 12, on a :

En classe de terminale C expérimentale, 85,71% des élèves donnent une réponse correcte et 14,29% des élèves donnent une réponse ambiguë. Comme exemple de réponse correcte, nous avons : « *Macroscopique renvoi à tout ce qui est visible à l'œil nu et que l'on peut toucher* ». Comme exemple de réponse ambiguë nous notons : « *c'est une molécule qu'on voit à l'œil nue* ». Le mot molécule se réfère au microscopique. Pour la classe de terminale C théorique, nous avons 86,36% de réponses correctes, 9,09% de réponse ambiguë et 4,55% de réponse incomplète. Comme exemple de réponse incomplète, nous avons : « *ce terme désigne des objets ou molécules ayant des dimensions suffisamment* ». Cette dernière réponse non

seulement est incomplète, mais aussi ambiguë puisque l'élève emploie le vocabulaire microscopique (« *molécule* »).

En classe de terminale D1 expérimentale, nous avons 28,57% des réponses proposées qui sont correctes, 50% des réponses proposées qui sont incorrectes, 14,29% des réponses qui sont ambiguës et 7,14% des élèves qui ne proposent pas de réponse. Concernant la classe de terminale D1 théorique, nous avons 35,71% de réponses correctes, 57,14% de réponses incorrectes et 7,14% de réponses ambiguës.

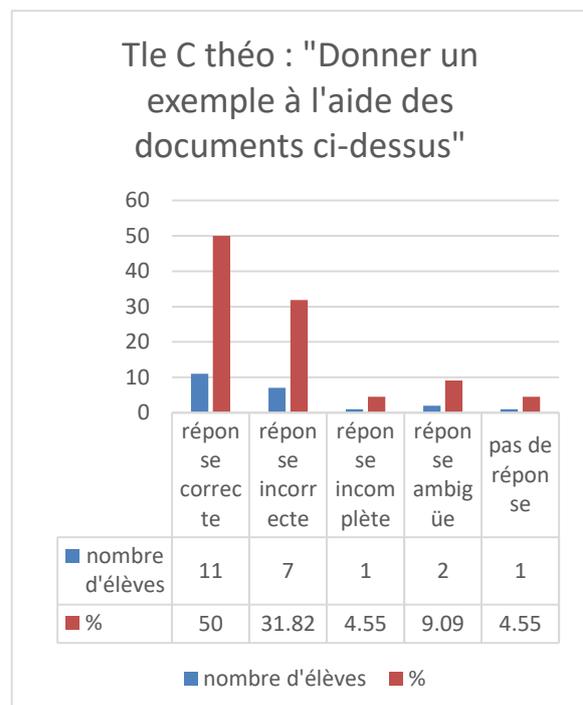
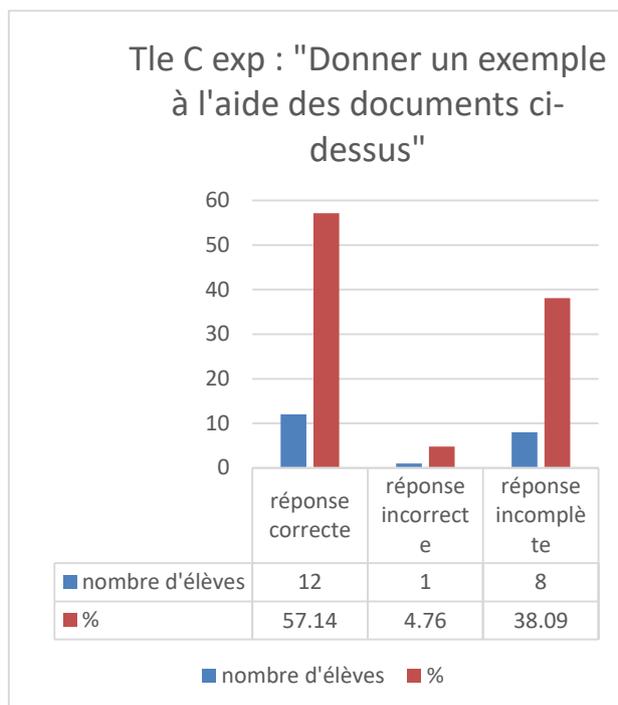
En classe de terminale D2 expérimentale, nous avons 58,82% de réponses correctes, 17,65% de réponses incorrectes et 23,53% de réponses ambiguës. Concernant la classe de terminale D2 théorique, nous avons 88,24% de réponses correctes et 11,76% de réponses ambiguës.

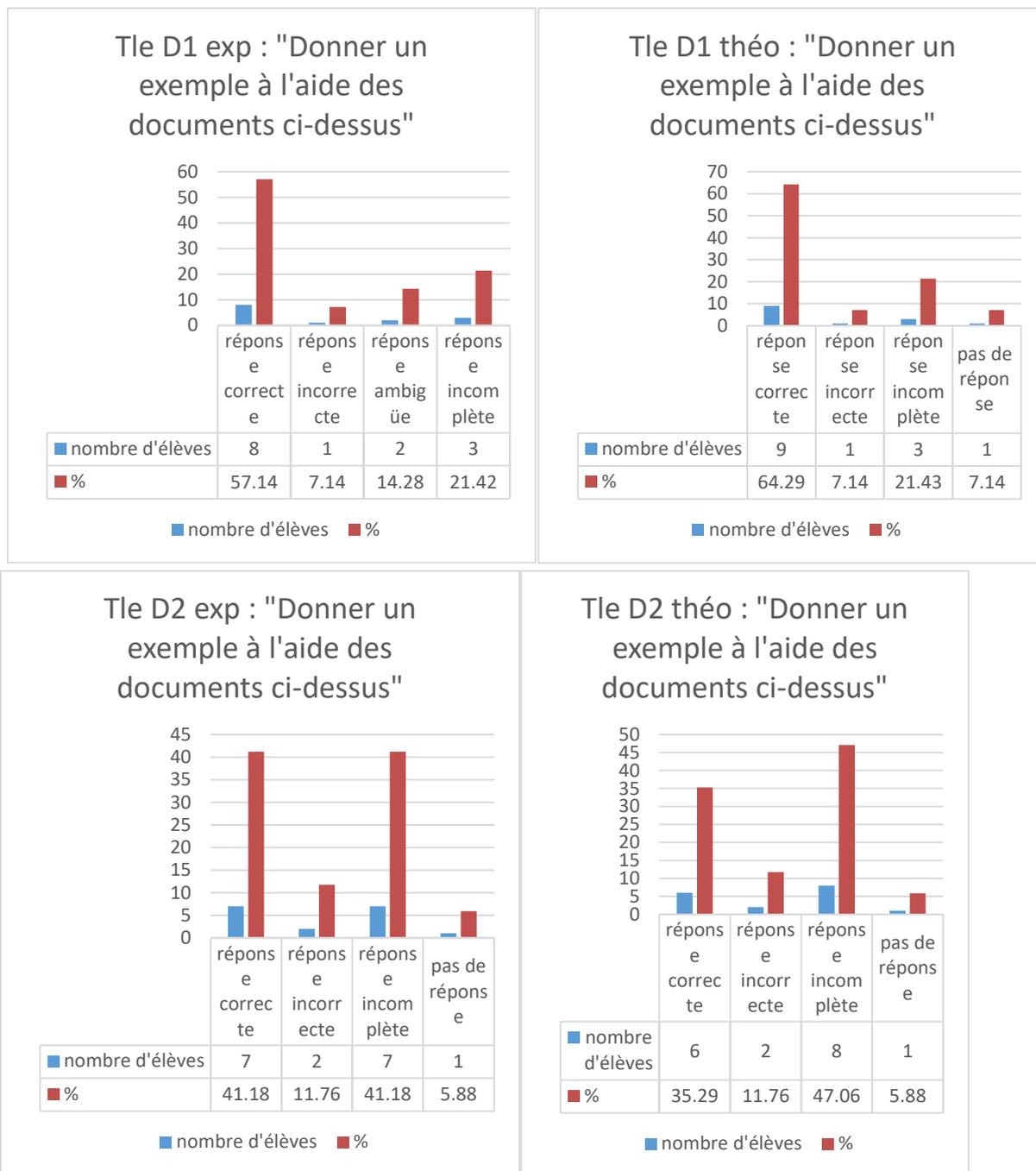
### **11-2-2 Bilan des analyses *a priori* de la question 1 pour l'ensemble des classes**

Pour les réponses correctes, les classes de terminales C (expérimentale et théorique) et la classe de terminale D2 théorique enregistrent des scores au-delà de 80%. Les classes de terminale D1 (expérimentale et théorique) enregistrent des scores en dessous de 50%. La classe de terminale D2 (expérimentale) enregistre des scores compris entre 50 et 60%. Par ailleurs, dans la plupart des classes, les réponses enregistrées appartiennent soit à la catégorie « *perceptible* », soit à la catégorie « *grand* ». Les réponses incorrectes enregistrées dans la plupart des classes relèvent soit du microscopique ou bien elles n'ont pas de rapport avec les niveaux de savoir. En ce qui concerne les réponses ambiguës, le constat est commun pour toutes les classes (expérimentales et théoriques) : les élèves utilisent à la fois les termes de deux niveaux de savoir. Les réponses incomplètes concernent celles dont la compréhension n'est pas possible à cause d'explications insuffisantes. Les taux d'abstention concernent uniquement un groupe sur six, ce qui montre que dans la plupart des cas, des réponses ont été proposées. D'après ces résultats, nous formulons l'hypothèse suivante : une partie des élèves semble avoir une bonne appréhension du niveau macroscopique. Il serait intéressant dans la suite de regarder les exemples associés afin de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse.

### 11-2-3 Résultats des analyses *a priori* de l'exemple associé à la première question (question 1-1) pour l'ensemble des classes : « Donnez un exemple à l'aide des documents ci-dessus. »

L'exemple associé à la première question (question 1-1) permet de compléter les appréhensions des élèves sur les niveaux de savoir : « Donnez un exemple à l'aide des documents ci-dessus ». Les termes recherchés sont similaires à la question 1. Cette question est complémentaire à la première. Les réponses obtenues ont été regroupées en catégorie (macro, micro, symbole) telle qu'indiqué dans la méthodologie de l'étude (partie 3). On s'intéresse aux réponses proposées (correcte, incorrecte ou incomplète) pour chacune des six classes. De manière spécifique, on veut regarder si l'élève peut donner un exemple associé à la définition du macroscopique. Les exemples de réponses attendues sont : « couleur », « solide », « liquide », « visible », « grand » ... Les graphiques sont présentés puis analysés par la suite.





**Graphique 13 : Résultats de l'exemple associé à la première question pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 13,

En classe de terminale C expérimentale, nous avons 57,14% des élèves qui proposent une réponse correcte, 4,76% proposent une réponse incorrecte et 38,09% proposent une réponse incomplète. Comme exemple de réponse, un élève propose la réponse correcte ci-après : « *Nous*

*avons le sulfate de cuivre solide* ». Dans cet exemple de réponse, nous avons les termes « *sulfate de cuivre* » et « *solide* » pour le niveau macroscopique. Pour les autres exemples de réponses, les élèves proposent respectivement « *document b* » pour la réponse incomplète et « *la molécule de sulfate de cuivre est une macromolécule* » comme exemple de réponse incorrecte. Cette dernière réponse est incorrecte puisque le terme « *macromolécule* » ou encore « *molécule* » appartiennent au niveau microscopique. Concernant la classe de terminale C théorique, 50% des élèves donnent une réponse correcte, 31,82% donnent une réponse incorrecte, 4,55% des élèves donnent une réponse incomplète, 9,09% proposent une réponse ambiguë et 4,55% ne proposent pas de réponse.

En classe de terminale D1 expérimentale, nous avons 57,14% des élèves qui proposent une réponse correcte, 7,14% qui proposent une réponse incorrecte, 14,28% qui proposent une réponse ambiguë et 21,42% qui proposent une réponse incomplète. Concernant la classe de terminale D1 théorique, nous avons 64,29% de réponses correctes, 7,14% de réponses incorrectes, 21,43% de réponses incomplètes et un taux d'abstention de 7,14%.

En classe de terminale D2 expérimentale, 41,18% des élèves proposent une réponse correcte, 11,76% proposent une réponse incorrecte, 41,18% proposent une réponse incomplète et 5,88% ne proposent pas de réponse. Concernant la classe de terminale D2 théorique, 35,29% des élèves proposent une réponse correcte, 11,76% proposent une réponse incorrecte, 47,06% proposent une réponse incomplète et 5,88% ne proposent pas de réponse.

#### **11-2-4 Bilan des analyses *a priori* de la question 1-1 pour l'ensemble des classes**

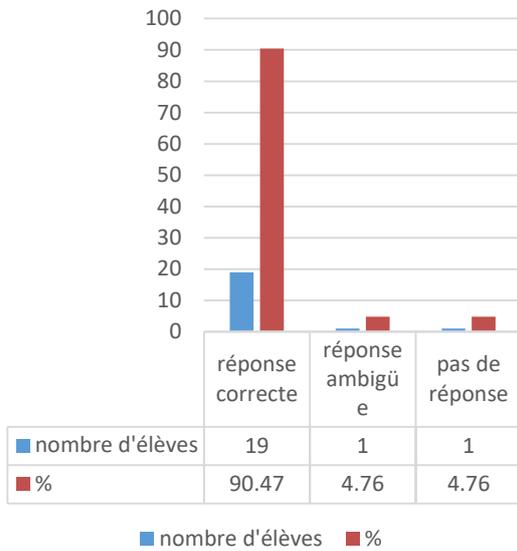
En ce qui concerne les réponses correctes, les résultats obtenus dans les classes de terminale D2 expérimentale et théorique sont en dessous de 50%, contrairement aux autres classes. Cependant, on note une forte proportion de réponses incomplètes dans les classes de terminale D2 expérimentale et théorique. Les réponses incomplètes proposées dans ces classes montrent que les élèves, bien que semblant avoir compris la question, ne seraient peut-être pas assez outillés pour donner un exemple. Par ailleurs, à l'exception des classes de terminale D1 expérimentale et C expérimentale où l'on observe un taux d'abstention nul, pour les autres classes, ce taux a néanmoins une proportion faible, ce qui indique un doute minoritaire de la part des élèves vis-à-vis de la question. En ce qui concerne les réponses ambiguës, elles sont présentes en classe de terminale C théorique et D1 expérimentale et confirme davantage les

difficultés que rencontrent les élèves. En ce qui concerne les réponses incorrectes, le constat est le même qu'à la question 1 : les élèves utilisent dans la majeure partie des cas les termes ayant trait au niveau microscopique. En lien avec la première question, on note : une baisse du nombre de réponses correctes dans les classes de terminales C expérimentale et théorique, terminales D2 expérimentale et théorique. La baisse concernant le nombre de réponses correctes est très remarquable en classe de terminale D2 théorique. Une augmentation du nombre de réponses correctes en classe de terminales D1 (expérimentale et théorique) est observée. Intéressons-nous aux élèves qui répondent correctement aux deux questions (1 et 1-1). Dans ce cas, nous avons 47,62% pour la classe de terminale C expérimentale, 50% pour la classe de terminale C théorique, 28,57% pour la classe de terminale D1 expérimentale, 28,57% pour la classe de terminale D1 théorique, 29,41% pour la classe de terminale D2 expérimentale et 29,41% pour la classe de terminale D2 théorique. Cette seconde analyse permet d'affirmer que, compte tenu du fait que les élèves donnent des réponses correctes pour la définition du macroscopique, ils ne sont pas toujours en mesure de donner un exemple associé, ce qui peut témoigner de leurs maîtres insuffisantes du concept.

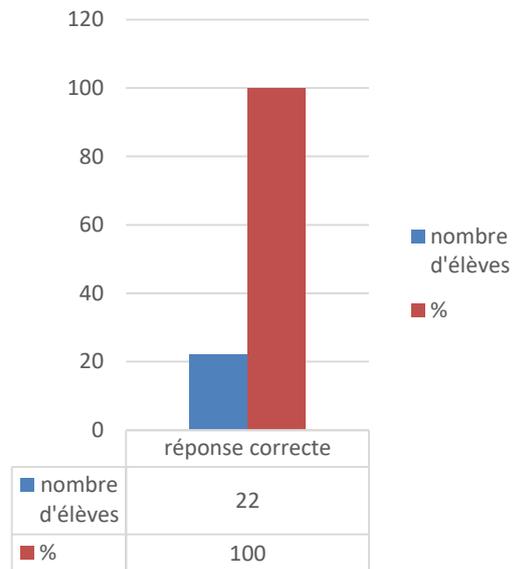
#### **11-2-5 Résultats des analyses *a priori* de la deuxième question pour l'ensemble des classes : « Qu'entendez-vous par microscopique ? »**

La deuxième question porte sur les appréhensions des élèves concernant le niveau microscopique. En effet, on veut regarder si l'élève utilise les termes comme « *atome* » « *molécules* », « *petit* », « *invisible* ». Pour chacune des réponses proposées, on regardera si elles sont correctes, incorrectes, incomplètes. On tentera d'expliquer les motivations des élèves dans le choix des réponses selon leurs natures. Pour y parvenir, les résultats sont présentés au fur et à mesure puis analysés.

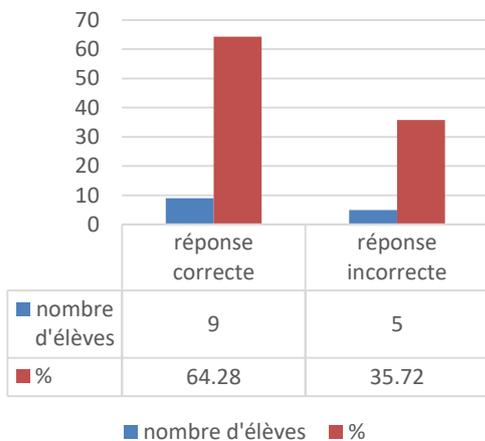
Tle C exp : "Qu'entendez vous par microscopique ?"



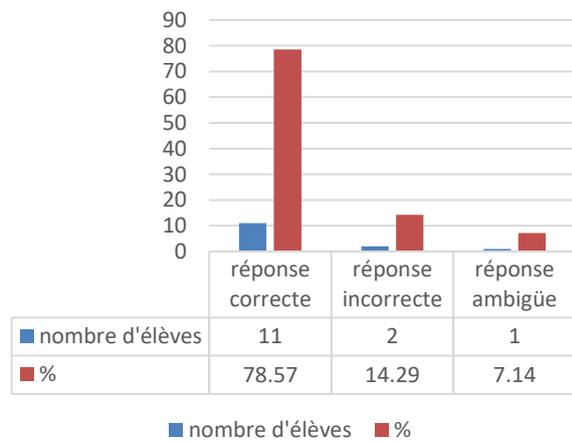
Tle C théo : "Qu'entendez vous par microscopique?"

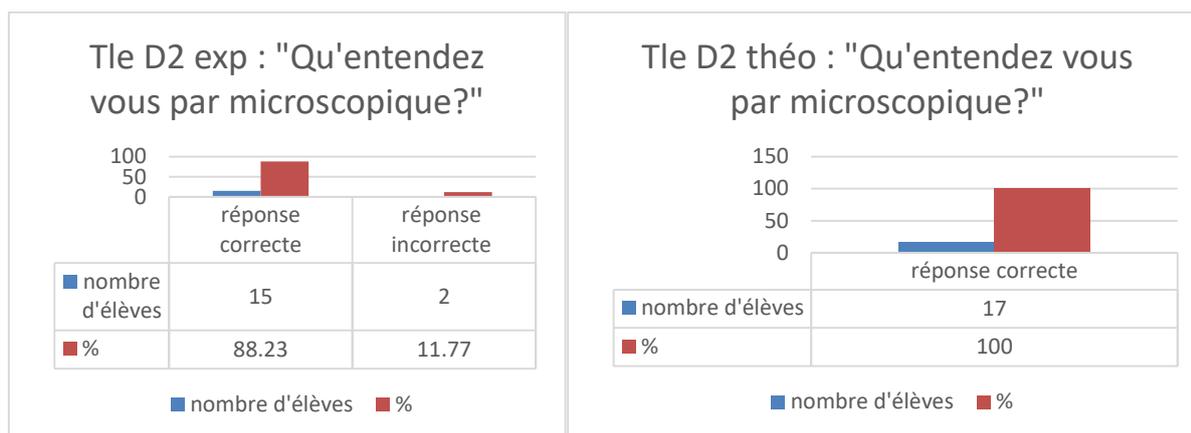


Tle D1 exp : "Qu'entendez vous par microscopique?"



Tle D1 théo : "Qu'entendez vous par microscopique?"





**Graphique 14 : Résultats de la deuxième question pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 14 on a :

En classe de terminale C expérimentale, nous avons 90,47% de réponses correctes, 4,76% de réponses ambiguës et un taux d'abstention de 4,76%. Comme exemple de réponse correcte nous avons : « *Ce qui est microscopique est tres petit et on ne peut pas le voire à l'œil nu* ». Dans cet exemple, nous avons le terme « *petit* » qui appartient au niveau microscopique. Comme exemple de réponse ambiguë, nous avons : « *Une molécule microscopique est une molécule que l'on voit et qu'on ne peut pas toucher* ». Cette dernière réponse est ambiguë puisqu'elle renvoie à la fois au niveau macroscopique et au niveau microscopique. En classe de terminale C théorique tous les élèves proposent une réponse correcte.

En classe de terminale D1 expérimentale, 64,28% des élèves proposent une réponse correcte et 35,72% proposent une réponse incorrecte. Comme exemple de réponse incorrecte, un élève a écrit : « *ensemble de processus d'analyse effectué par un microscope* ». L'élève semble faire un rapprochement entre microscope et microscopique mais, sa réponse est tout de même incorrecte. Pour la classe de terminale D1 théorique, nous avons 78,57% de réponses correctes, 14,29 % de réponses incorrectes et 7,14% de réponses ambiguës.

Pour la classe de terminale D2 expérimentale, nous avons 88,23% de réponses correctes et 11,77% de réponses incorrectes. Tous les élèves de la classe de terminale D2 théorique donnent une réponse correcte.

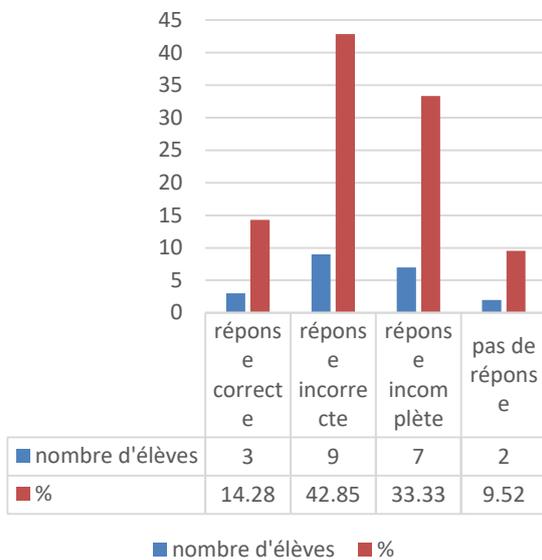
### **11-2-6 Bilan des analyses *a priori* de la question 2 pour l'ensemble des classes**

D'après les différents graphiques, comme pour les questions précédentes, on peut tout d'abord noter trois catégories de réponses (correctes, incorrectes, ambiguës) sans oublier le taux d'abstention (pas de réponse). Dans deux classes sur six, l'ensemble des élèves propose une réponse correcte. Dans les quatre autres classes, on note une diversification des proportions des bonnes réponses qui restent cependant au-dessus de 60%. Pour cette question, les élèves donnent des réponses comme « *petit* », « *invisible* ». Les réponses incorrectes sont dans la plupart des cas en rapport avec d'autres niveaux de savoir. Par exemple lorsqu'on demande aux élèves leurs appréhensions sur le microscopique, les réponses incorrectes sont quasiment au niveau macroscopique. Les réponses ambiguës renvoient dans la plupart des cas à la fois au niveau macroscopique et au microscopique. L'hypothèse suivante peut être formulée : les élèves semblent avoir une appréhension du « microscopique ». L'exemple associé permettra de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse.

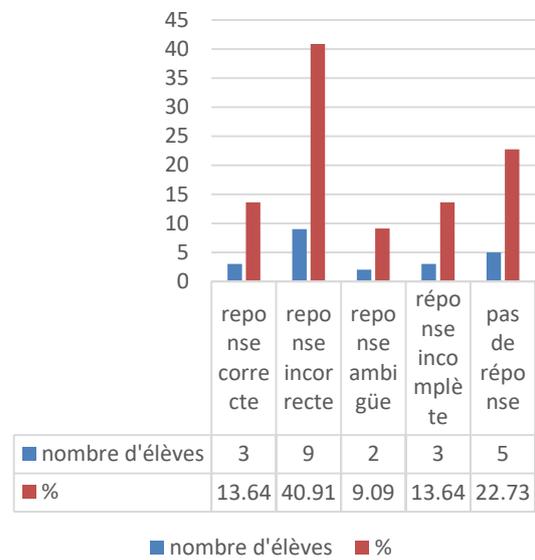
### **11-2-7 Résultats des analyses *a priori* de l'exemple associé à la deuxième question pour l'ensemble des classes : « Donner un exemple à l'aide des documents ci-dessus »**

La question 2-1 concerne les appréhensions des élèves sur l'exemple associé au niveau microscopique. En effet, on veut regarder si un élève, compte tenu du fait qu'il a donné une réponse correcte peut donner un exemple associé à cette définition, ce qui témoignerait de ses appréhensions pour le niveau microscopique. Les exemples de réponses ayant trait à l'invisible, au petit, sont donc attendus en termes de justification. Par exemple les réponses suivantes pourraient être données : « *ion sulfate* », « *ion cuivre (II)* ». Les résultats sont présentés puis analysés par la suite, pour chacune des classes. Le graphique 15 présente les résultats de l'ensemble des classes.

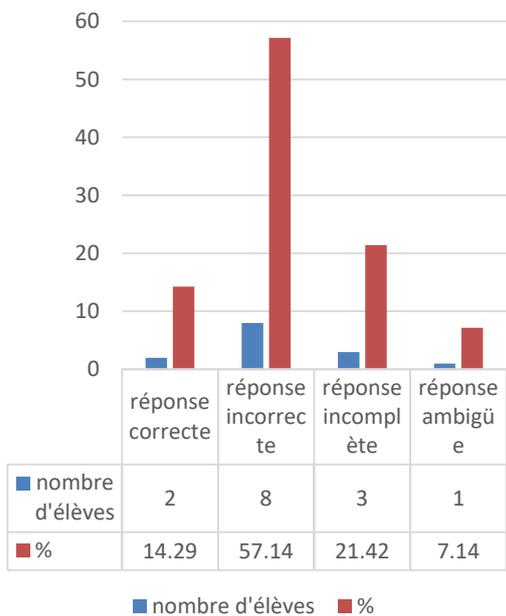
Tle C exp : "Donner un exemple à l'aide des documents ci-dessus"



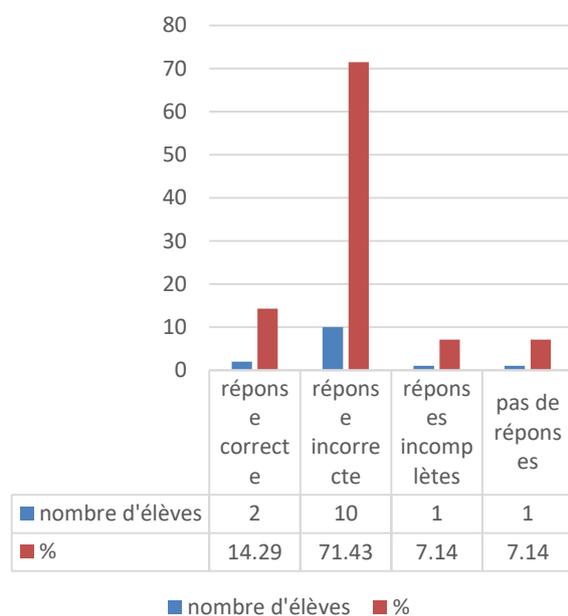
Tle C théo : "Donner un exemple à l'aide des documents ci-dessus"

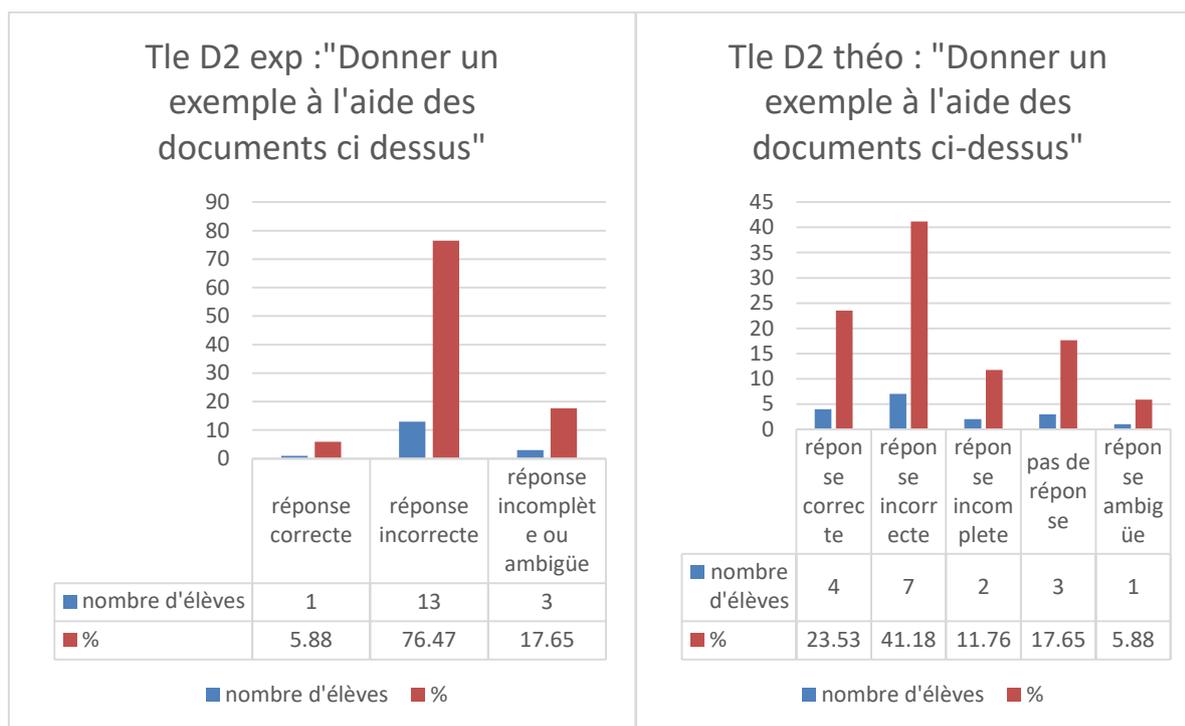


Tle D1 exp : "Donner un exemple à l'aide des documents ci-dessus"



Tle D1 théo : "Donner un exemple à l'aide des documents ci-dessus"





**Graphique 15 : Résultats de l'exemple associé à la deuxième question pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 15, nous avons :

En classe de terminale C expérimentale, 14,28% des élèves proposent une réponse correcte, 42,85% proposent une réponse incorrecte, 33,33% proposent une réponse incomplète et 9,52% ne proposent pas de réponse. Comme exemple de réponse correcte, un élève propose la réponse ci-après : « *les ions de sulfate de cuivre.* ». Dans cette réponse, le terme ion n'est pas visible à l'œil nu donc il rentre dans le niveau microscopique. Comme exemple de réponse incorrecte, nous avons : « *document a, solution de sulfate de cuivre* ». Cette réponse est incorrecte puisque l'élève utilise le terme solution qui relève du visible et qui rentre dans le macroscopique. Un exemple de réponse incomplète proposée est : « *document a)* ». Cette dernière réponse est incomplète puisqu'elle ne contient pas de vocabulaire microscopique. En classe de terminale C théorique, nous avons 13,64% de réponses correctes, 40,91% de réponses incorrectes, 9,09% de réponses ambiguës, 13,64% de réponses incomplètes et un taux d'abstention de 22,73%. Comme exemple de réponse ambiguë, un élève propose la réponse ci-après : « *a- solution de sulfate de cuivre les composés y contenues* ». Cette dernière réponse est ambiguë puisque l'élève emploie le vocabulaire macroscopique « *solution de sulfate de cuivre.* » et le vocabulaire microscopiques « *les composés y contenues* ».

En classe de terminale D1 expérimentale, nous avons 14,29% de réponses correctes, 57,14% de réponses incorrectes, 21,42% de réponses incomplètes et 7,14% de réponses ambiguës. En classe de terminale D1 théorique, nous avons 14,29% de réponses correctes, 71,43% de réponses incorrectes, 7,14% de réponses incomplètes et un taux d'abstention de 7,14%.

En classe de terminale D2 expérimentale, nous avons 5,88% de réponses correctes, 76,47% de réponses incorrectes et 17,65% de réponses incomplètes ou ambiguës. En classe de terminale D2 théorique, nous avons 23,53% de réponses correctes, 41,18% de réponses incorrectes, 11,76% de réponses incomplètes, 5,88% de réponses ambiguës et un taux d'abstention de 17,65%.

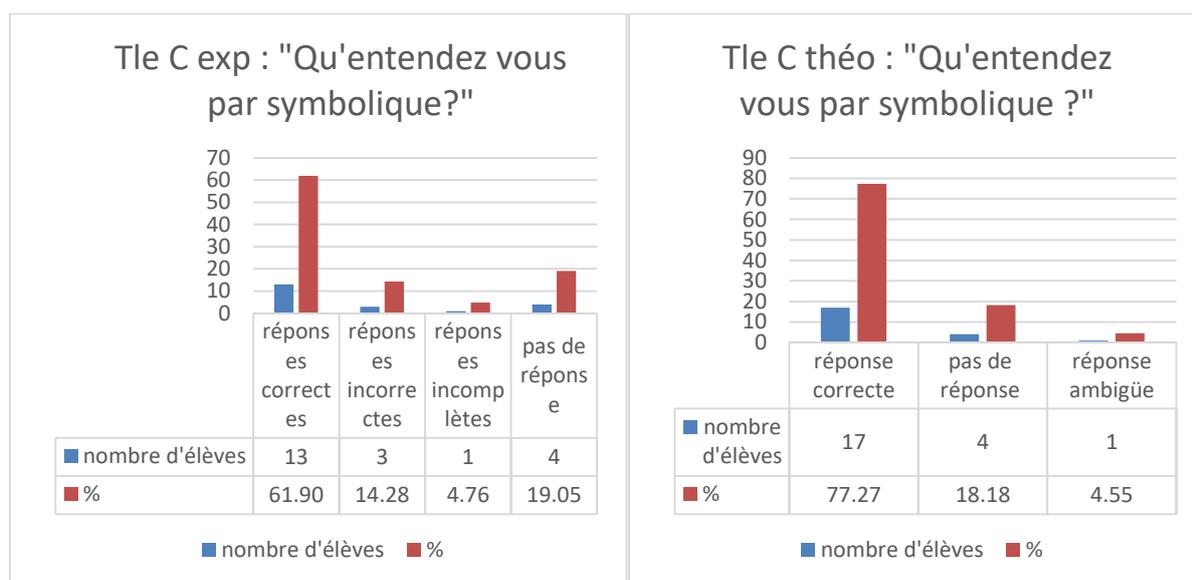
### **11-2-8 Bilan des analyses *a priori* de la question 2-1 pour l'ensemble des classes**

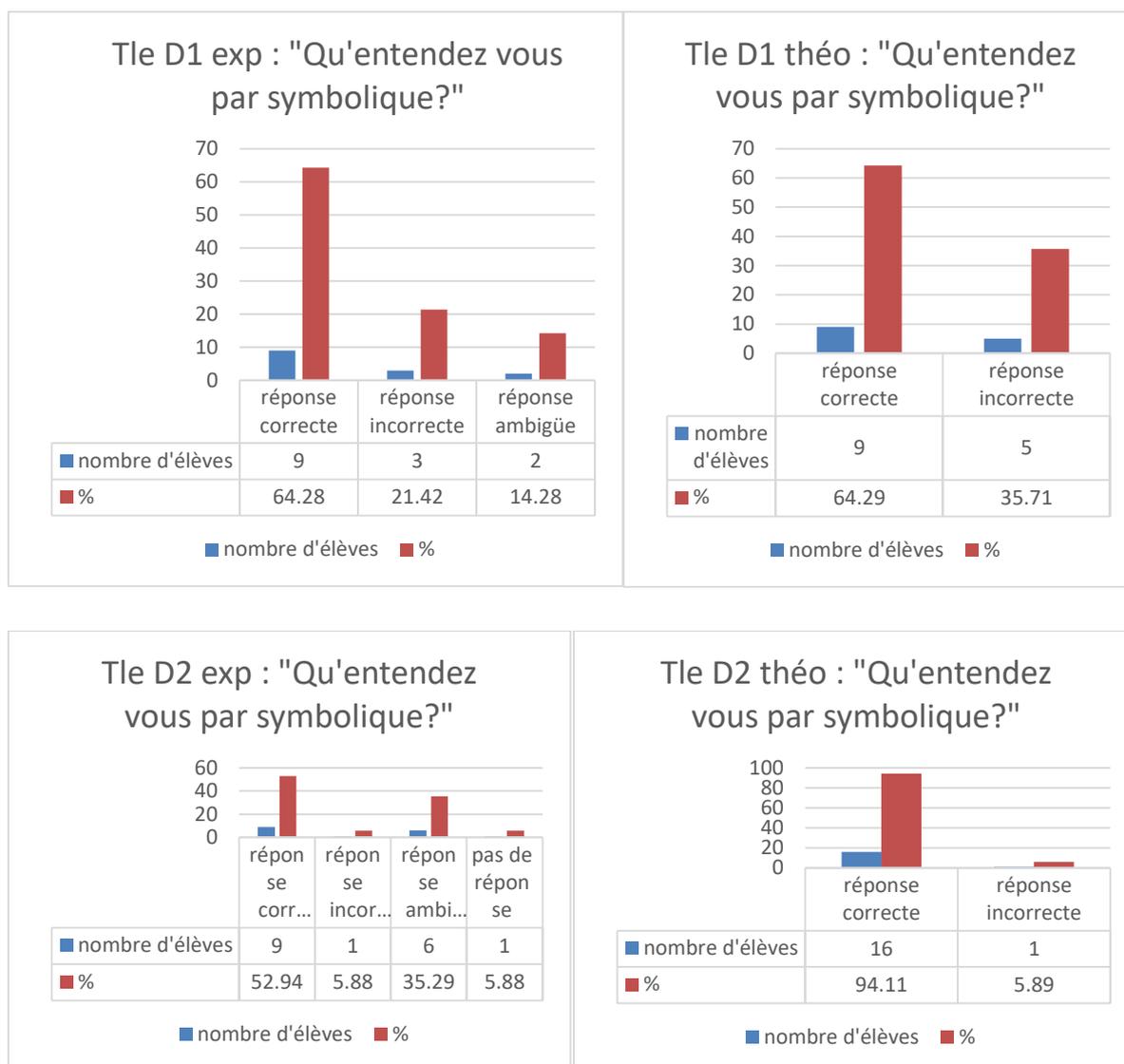
L'analyse des différents graphiques permet de relever une baisse de la proportion des réponses correctes. Contrairement à la question 2, où des scores de 100% étaient enregistrés dans plusieurs classes (terminales C et D2 théorique), dans la question 2-1, la proportion des réponses correctes reste mitigée (en dessous de 25%). La proportion de réponses incorrectes est la réponse la plus élevée dans chacune des classes. En effet, la classe de terminale D2 expérimentale qui présentait 11,77% de réponses incorrectes dans la question précédente (question 2) donne 76,47% de réponses incorrectes. Concernant les réponses correctes pour cette classe, on note une baisse très remarquable (de 88,23% à 5,88%). Intéressons-nous aux élèves qui répondent correctement aux deux questions (2 et 2-1). Nous avons 14,29% pour la classe de terminale C expérimentale, 13,64% pour la classe de terminale C théorique, 7,14% pour la classe de terminale D1 expérimentale, 7,14% pour la classe de terminale D1 théorique, 0% pour la classe de terminale D2 expérimentale, 23,53% pour la classe de terminale D2 théorique. Ces résultats sont interpellants puisque les élèves ne répondent pas correctement aux questions 2 et 2-1. Cependant, lorsqu'on regarde de près l'origine de ces échecs, dans la plupart des classes, la difficulté réside dans la confusion des niveaux de savoir. De plus, les exemples de réponses ont montré que cette confusion s'effectuait entre le macroscopique et le microscopique. Comme exemple de confusion, l'élève qui donne la réponse : « *document a, solution de sulfate de cuivre* » est dans le niveau macroscopique. Par ailleurs, le niveau symbolique bien que minoritaire dans les erreurs n'est pas à exclure. Compte tenu des résultats obtenus, cette analyse permet donc de réfuter l'hypothèse concernant la maîtrise du

microscopique par les élèves : les élèves, bien qu'ils définissent correctement le microscopique, ne sont cependant pas capables de donner des exemples pour l'expliquer. Dans la suite, on s'intéresse au niveau symbolique.

### 11-2-9 Résultats des analyses *a priori* de la troisième question pour l'ensemble des classes : « Qu'entendez-vous par symbolique ? »

La question 3 concerne les appréhensions des élèves sur le symbolique : « Qu'entendez-vous par symbolique ? ». Dans ce type de questions, comme précisé dans la partie consacrée à la méthodologie, on veut regarder si la définition de l'élève intègre les symboles qui dans la plupart des cas sont utilisés pour représenter soit les atomes, les molécules ou d'autres entités chimiques. Les termes comme « conventions » ou « représentations » sont également acceptés. De plus, toute autre réponse appartenant au niveau symbolique et précisé par les auteurs cités dans ce manuscrit (de Johnstone (1982) à Dehon (2018)) sera également acceptée. Les analyses s'effectuent classe après classe. Les graphiques ci-dessous présentent l'ensemble des résultats.





**Graphique 16 : Résultats de la troisième question pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 16, nous avons :

En classe de terminale C expérimentale, 61,90% des élèves proposent une réponse correcte, 14,28% proposent une réponse incorrecte, 4,76% proposent une réponse incomplète et 19,05% ne propose pas de réponse. Intéressons-nous aux exemples de réponses. Comme exemple de réponse correcte, un élève donne la réponse ci-après : (« *c'est la représentation d'un élément à l'aide de différents symboles et de manière unique* »). Cette réponse contient bien les termes appartenant au niveau symbolique (« *représentation* » et « *symbole* »). Comme exemple de réponses incorrectes, un élève propose : « *immortaliser quelque chose* ». Cette réponse semble illustrer le caractère représentatif du symbolique : l'élève ne l'a pas formulé correctement. Concernant les réponses incomplètes dans la plupart des cas, nous notons une

absence de mot pouvant donner un sens correct à la définition. Une illustration concrète est la réponse suivante donnée par un élève : « *c'est une chose qui permet de représenter spécifiquement une autre chose* ». Dans cette réponse, on retrouve le terme « *représenter* » qui relève du symbolique de Johnstone (1982), mais, noyé parmi d'autres mots qui donnent un sens incomplet à la phrase. Par ailleurs, le taux d'abstention semble traduire les difficultés auxquelles les élèves font face. En classe de terminale C théorique, 77,27% des élèves proposent une réponse correcte, 18,18% ne proposent pas de réponses et 4,55% proposent une réponse ambiguë.

En classe de terminale D1 expérimentale, nous avons 64,28% de réponses correctes, 21,42% des réponses incorrectes et 14,28% de réponses ambiguës. En classe de terminale D1 théorique, nous avons 64,29% de réponses correctes et 35,71% de réponses incorrectes.

En classe de terminale D2 expérimentale, nous avons 52,94% de réponses correctes, 5,88% de réponses incorrectes, 35,29% de réponses ambiguës et un taux d'abstention de 5,88%. En classe de terminale D2 théorique, nous avons deux catégories de réponses : 94,11% de réponses correctes et 5,89% de réponses incorrectes.

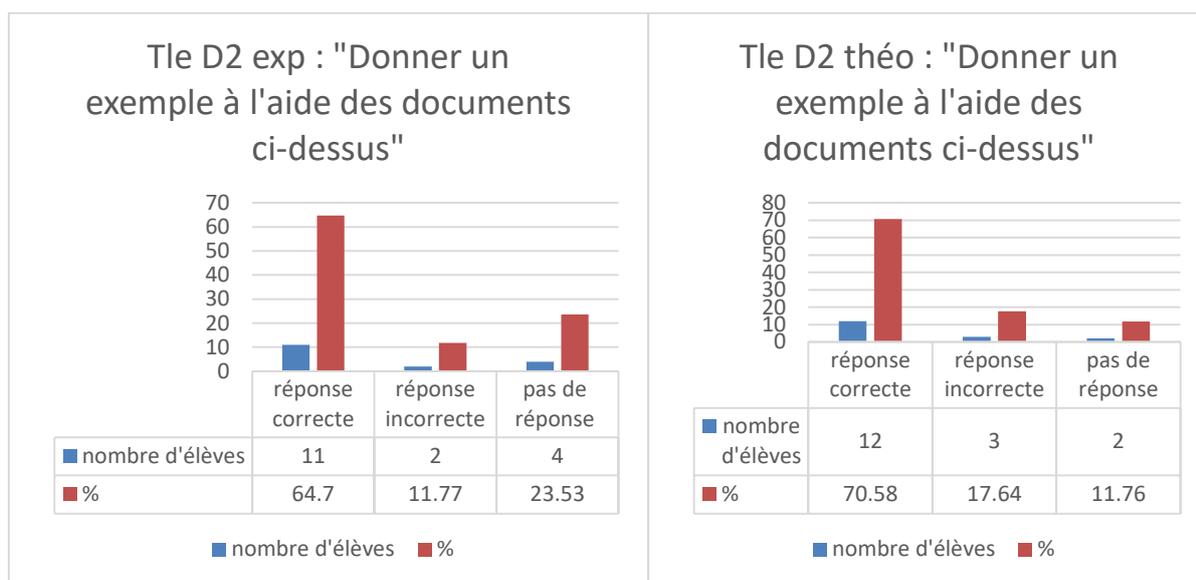
### **11-2-10 Bilan des analyses *a priori* de la question 3 pour l'ensemble des classes**

D'après les graphiques précédents, la proportion des réponses correctes reste au-dessus de 50% pour l'ensemble des classes. La classe de terminale D2 théorique possède la proportion la plus élevée de réponses correctes contrairement à la classe de terminale D2 expérimentale qui détient le record de la proportion la plus basse. Les élèves utilisent majoritairement le terme « *représenter* » pour définir le symbolique. Ce terme traduit effectivement la fonction assignée au niveau symbolique pour Johnstone (1982). Dans certaines classes, on note des réponses ambiguës des élèves qui traduisent des idées quelquefois mal structurées. La proportion des réponses ambiguës est très élevée en classe de terminale D2 expérimentale. Le taux d'abstention est également élevé en classes de terminales C théorique et expérimental. Pour le taux de réponse incorrecte, il est très élevé en classe de terminale D1 théorique. L'exploration des réponses montre que leur sens est dans la plupart des cas difficile à appréhender car elles ne renvoient à aucun niveau de savoir. Il serait intéressant d'explorer davantage les exemples que les élèves associent au terme « *symbole* » afin de voir leur niveau de compréhension.

### 11-2-11 Résultats des analyses *a priori* de l'exemple associé à la troisième question pour l'ensemble des classes : « Donner un exemple à l'aide des documents ci-dessus »

La question 3-1 concerne l'exemple associé à la définition du symbolique : « Donner un exemple à l'aide des documents ci-dessus ». Dans cette question, on veut regarder si l'élève illustre la définition de symbolique par des mots tels que « *symbole*, ... ». Cette illustration de la définition de « *symbolique* » permettra de confirmer ou d'infirmer les appréhensions des élèves sur le niveau symbolique. Le graphique 17 présente les résultats des différentes classes.





**Graphique 17 : Résultats de l'exemple associé à la troisième question pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 17, nous avons :

En classe de terminale C expérimentale, 61,90 % des élèves proposent une réponse correcte, 9,52% proposent une réponse incomplète, 4,76 % proposent une réponse incorrecte et 23,80% ne proposent pas de réponse. Intéressons-nous aux exemples de réponses. Comme exemple de réponse correcte, un élève propose la réponse ci-après : «  $CuSO_4$  qui est la représentation symbolique du sulfate de cuivre ou le cuivre a pour symbole  $Cu$ , le soufre  $S$  et l'oxygène  $O$  ». Dans cette illustration, l'élève utilise le nom des atomes et l'associe au symbole. C'est le cas du symbole de l'atome de cuivre «  $Cu$  ». Comme exemple de réponses incomplètes, nous avons la réponse ci-après proposée par un élève de la classe : « *il s'agit d'une réaction de dissolution du sulfate de cuivre* » : une telle réponse aurait pu être acceptée si l'élève avait associé le sulfate de cuivre à son symbole ou donner la réaction à l'équation de réaction. Les réponses incorrectes concernent dans la plupart des cas les autres niveaux de savoir. C'est le cas par exemple de la réponse suivante : « *a) solution de sulfate de cuivre* ». Dans cette réponse le terme solution renvoie au macroscopique. En classe de terminale C théorique, 50% des élèves proposent une réponse correcte, 27,27% proposent une réponse incorrecte, 18,18% ne proposent pas de réponse et 4,55% proposent une réponse ambiguë. Comme exemple de

réponse ambiguë, nous avons : « *le symbole de l'atome de carbone* ». Cette dernière réponse, bien qu'elle concerne le niveau symbolique, n'illustre pas explicitement le niveau symbolique.

En classe de terminale D1 expérimentale, nous avons 50% de réponses correctes et 50% de réponses incorrectes. En classe de terminale D1 théorique, nous avons 71,43% de réponses correctes, 21,43% de réponses incorrectes et 7,43% de réponses ambiguës.

En ce qui concerne la classe de terminale D2 expérimentale, nous avons 64,70% de réponses correctes, 11,77% de réponses incorrectes et un taux d'abstention de 23,53%. En classe de terminale D2 théorique, nous avons 70,58% de réponses correctes, 17,64% de réponses incorrectes et un taux d'abstention de 11,76%.

### **11-2-12 Bilan des analyses *a priori* de la question 3-1 pour l'ensemble des classes**

Les résultats de la question 3-1 présentent les appréhensions des élèves sur l'exemple associé au symbolique. La plupart des classes explorées présente des résultats au-dessus de la moyenne. Les réponses proposées dans la majeure partie des cas gardent le sens originel de Johnstone (1984) : le niveau symbolique sert à représenter. Les réponses incorrectes ou ambiguës sont communes à toutes les classes et sont généralement en rapport avec d'autres niveaux de savoir (niveau macroscopique, niveau microscopique). Cependant, lorsqu'on compare les réponses des questions 3 et 3-1, les résultats des réponses correctes varient de la manière suivante :

- Les résultats sont constants en classe de terminale C expérimentale (61,90%),
- Une baisse de 27,27% est observée en classe de terminale C théorique,
- Une baisse de 14,28% est observée en classe de terminale D1 expérimentale,
- Une augmentation de 7,15% est observée en terminale D1 théorique,
- Une augmentation de 11,76% est observée en classe de terminale D2 expérimentale,
- Une baisse de 23,53% est observée en classe de terminale D2 théorique.

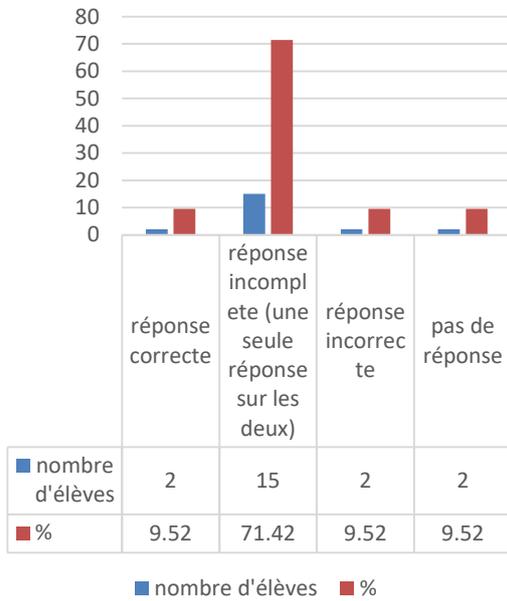
Ces variations de réponses en dent de scie indiquent que les élèves ont du mal à appréhender le niveau symbolique. Intéressons-nous aux élèves qui répondent correctement aux questions 3 et 3-1. Nous avons 52,38% en classe de terminale C expérimentale, 36,36% en classe de terminale

C théorique, 42,86% en classe de terminale D1 expérimentale, 57,14% en classe de terminale D1 théorique, 41,18% en classe de terminale D2 expérimentale et 64,71% en classe de terminale D2 théorique. La classe de terminale D2 théorique répond mieux aux deux questions (3 et 3-1) par rapport à toutes les autres classes. L'exploration des autres questions permettra de compléter les explications en vue de la mise en place de l'ingénierie.

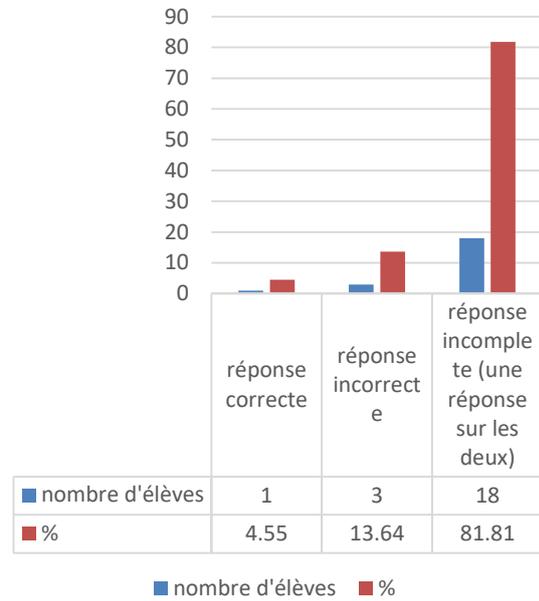
### **11-2-13 Résultats des analyses *a priori* de la quatrième question pour l'ensemble des classes**

La question 4 est à choix multiple. En effet, elle concerne les critères macroscopique et microscopique associés à l'éthanol : « *l'éthanol de formule brute  $C_2H_5OH$  est : a) un corps pur simple b) un corps pur composé c) un atome d) une molécule e) un mélange* » l'élève peut aussi préciser « *f) aucune de ces réponses.* » ou bien un « *g) je ne sais pas* ». Les réponses correctes attendues sont « *b) corps pur composé* » et « *d) molécule* ». Les élèves qui parlent de corps pur simple, corps pur composé, mélange attribuent un critère macroscopique, ceux qui choisissent les termes « *molécules* », « *atomes* », attribuent un critère microscopique. Par conséquent les réponses attendues peuvent être de deux niveaux : microscopique pour « *molécule* » et macroscopique pour « *corps pur composé* ». Nous considérons comme réponse correcte le choix des deux réponses attendues et comme réponse incomplète le choix d'une seule des deux réponses correctes. Dans ce dernier cas, nous pourrions voir dans quel niveau (macroscopique ou microscopique) l'élève se situe selon qu'il choisit « *molécule* » ou « *corps pur composé* ».

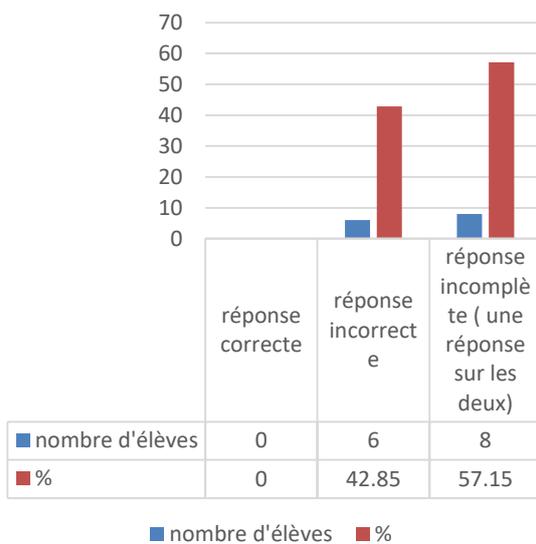
Tle C exp : "Critères macroscopique, microscopique associés à l'éthanol"



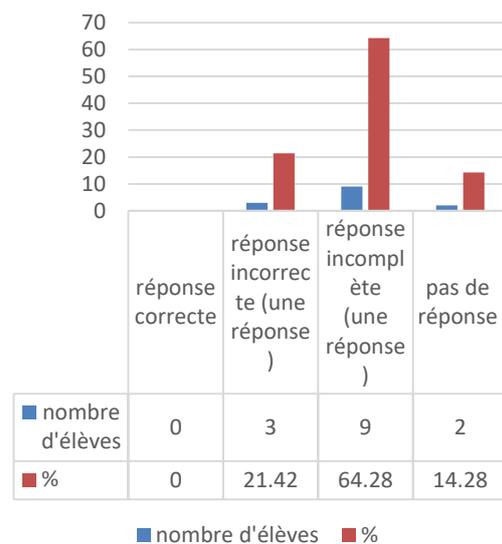
Tle C théo : "Critères macroscopique, microscopique associés à l'éthanol"

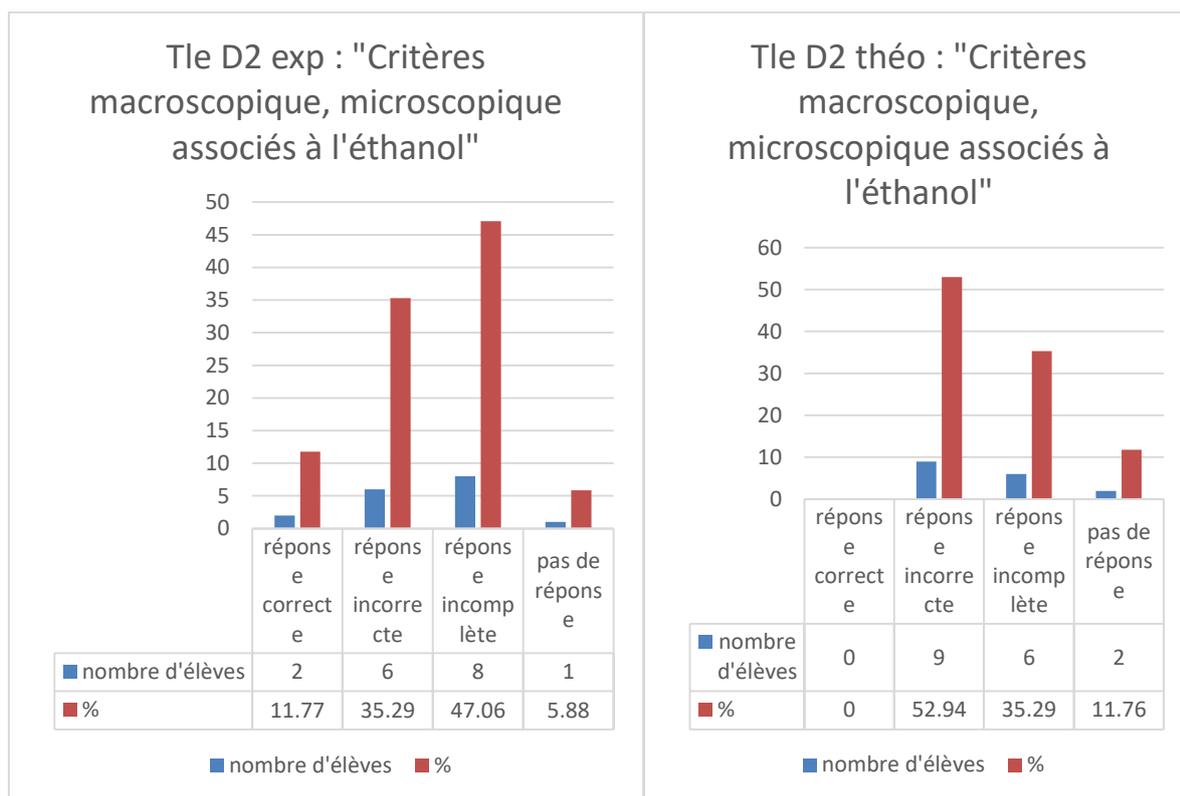


Tle D1 exp : "Critères macroscopique, microscopique associés à l'éthanol"



Tle D1 théo : "Critères macroscopique, microscopique associés à l'éthanol"





**Graphique 18 : Résultats de la quatrième question pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 18, nous avons :

En classe de terminale C expérimentale, 9,52% des élèves proposent une réponse correcte, 71,42% proposent une réponse incomplète, 9,52% proposent une réponse incorrecte et 9,52% ne proposent pas de réponses. Comme exemple de réponses correctes, un élève propose la réponse ci-après : (« *l'éthanol est une molécule et un corps pur composé* »). La réponse donnée par cet élève appartient à deux niveaux : molécule pour le niveau microscopique et corps pur composé pour le niveau macroscopique. Les élèves de cette classe attribuent davantage le critère microscopique à l'éthanol (« *molécule* ») au détriment du critère macroscopique. Comme exemple de réponse incorrecte, nous avons « *je ne sais pas* » et « *mélange* ». En classe de terminale C théorique, 4,55% des élèves proposent une réponse correcte, 13,64% proposent une réponse incorrecte et 81,81% proposent une réponse incomplète.

En classe de terminale D1 expérimentale, aucun élève ne propose une réponse correcte, 42,85% proposent une réponse incorrecte et 57,15% proposent une réponse incomplète. En classe de terminale D1 théorique, aucun élève ne propose une réponse correcte, 21,42% proposent une réponse incorrecte, 64,28% proposent une réponse incomplète et 14,28% ne proposent pas de réponse.

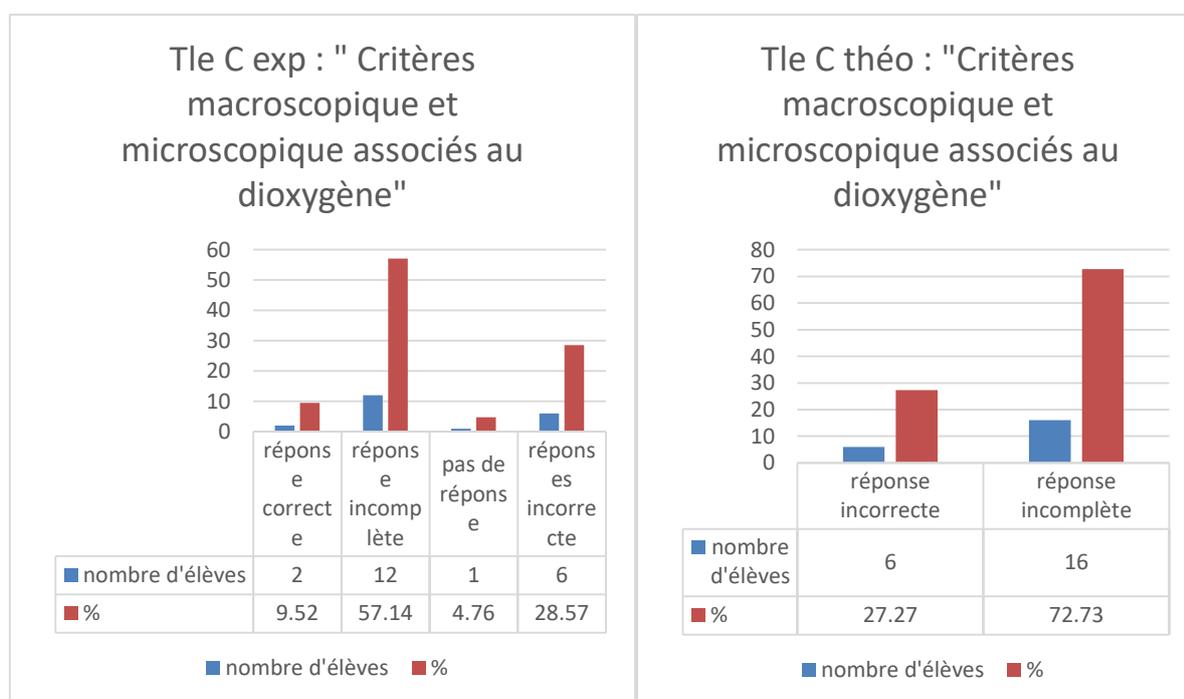
En classe de terminale D2 expérimentale, 11,77% des élèves proposent une réponse correcte, 35,29% proposent une réponse incorrecte, 47,06% proposent une réponse incomplète et 5,88% ne proposent pas de réponses. Concernant la classe de terminale D2 théorique, aucun élève ne propose une réponse correcte, 52,94% proposent une réponse incorrecte, 35,29% proposent une réponse incomplète et 11,76% ne proposent pas de réponses.

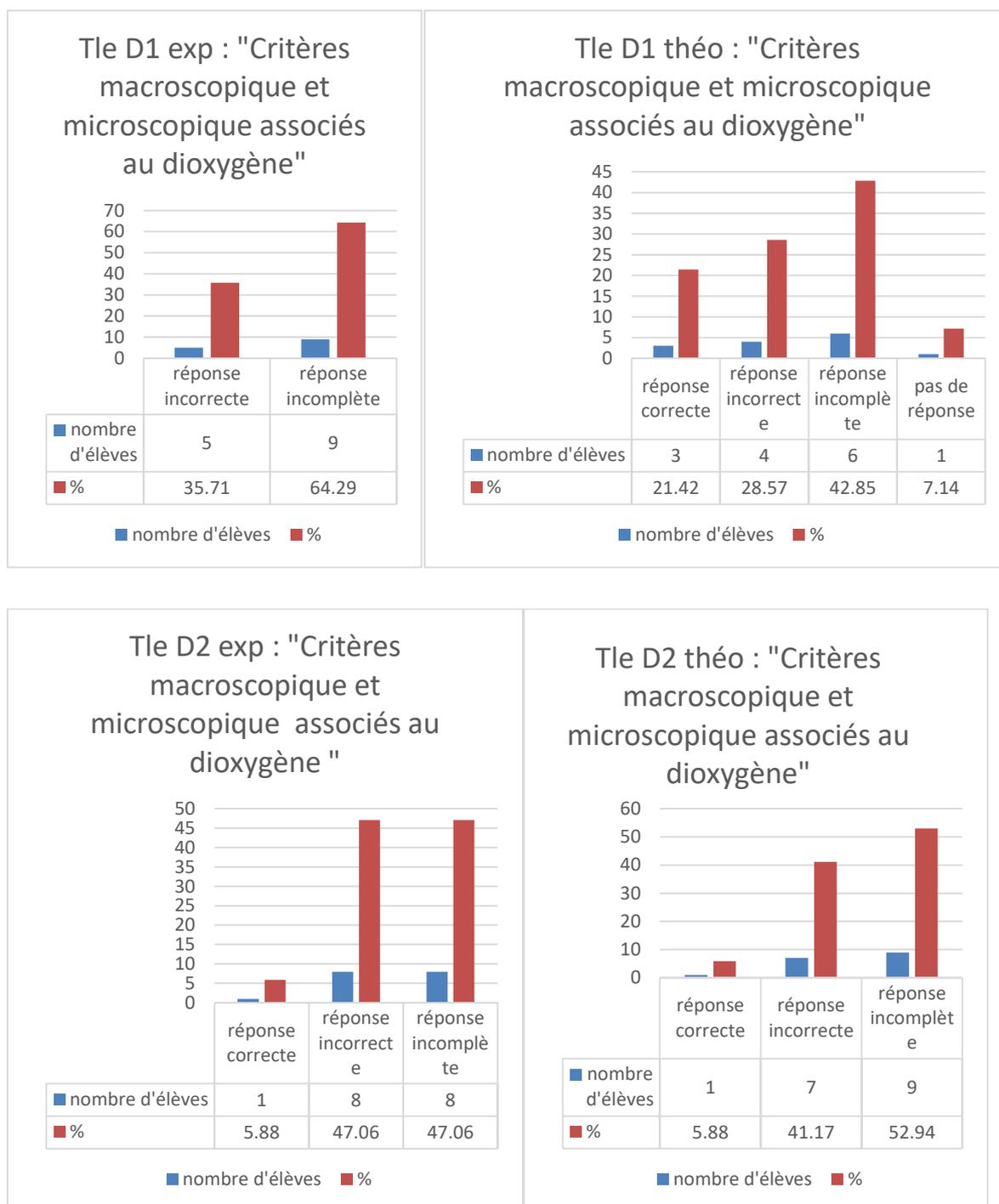
### **11-2-14 Bilan des analyses *a priori* de la question 4 pour l'ensemble des classes**

A l'exception de la classe de terminale D2 théorique, les proportions de réponses incomplètes prédominent : cette proportion est très élevée en classe de terminale C théorique (81,81%) et moins élevée en classe de terminale D2 théorique (35,29%). La proportion des réponses incomplètes indique d'une part un manque de connaissance chez les élèves puisqu'ils ne parviennent pas à associer les deux critères à la fois, et d'autre part, une difficulté de la part des élèves concernant la distinction d'une molécule et d'un corps pur composé en termes de niveau de savoir. Ces dernières difficultés méritent une attention particulière dans la suite. En ce qui concerne les réponses incorrectes, leur proportion est très élevée en classe de terminale D2 théorique (52,94%) et moins élevée en classe de terminale C expérimentale (9,52%). Lorsqu'on explore de plus près les réponses incorrectes en classe de terminale D2 théorique, nous faisons le constat suivant : 6 élèves sur 9 proposent une seule réponse incorrecte et les 3 autres proposent une réponse correcte et une réponse incorrecte. De plus, parmi les réponses incorrectes, la proposition « *e* ) mélange » intervient quatre fois. On peut donc s'interroger si les élèves assimilent l'éthanol à un mélange d'atomes. Concernant les réponses correctes, trois classes sur six enregistrent une proportion nulle concernant le choix des deux réponses. Les autres classes affichent des scores inférieurs à 15%. Ces résultats illustrent les difficultés des élèves en termes de niveaux de savoir : au niveau macroscopique (corps purs composé) et au niveau microscopique (molécules). Regardons le cas du dioxygène.

## 11-2-15 Résultats des analyses *a priori* de la question 5 pour l'ensemble des classes

La question 5 est une question à choix multiple : elle s'intéresse aux critères macroscopique et microscopique qui sont associés au dioxygène. A cet effet, l'élève est donc appelé à choisir une ou plusieurs réponses parmi les propositions de réponses ci-après : « Choisir la (ou les) bonne(s) réponse(s) : Le dioxygène est : *a) un corps pur simple b) un corps pur composé c) un atome d) une molécule e) un mélange.* » l'élève peut aussi choisir l'option « *f) aucune de ces réponses* » ou bien « *g) je ne sais pas* ». Le but des deux dernières propositions de réponse est de limiter le taux d'abstention. Les réponses attendues sont « *a) corps pur simple* » et « *d) une molécule* ». Si une seule réponse correcte est donnée, la réponse est considérée comme incomplète. Le graphique 19 présente les répartitions des réponses pour l'ensemble des classes.





**Graphique 19 : Résultats de la cinquième question pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 19, nous avons :

En classe de terminale C expérimentale, nous observons 9,52% de réponses correctes, 28,57% de réponses incorrectes, 57,14% de réponses incomplètes et un taux d'abstention de 4,76%. Comme exemple de réponses correctes, un élève propose la réponse ci-après : « corps

*pur simple* » et « *molécule* ». Les élèves qui choisissent « *corps pur simple* » sont dans le niveau macroscopique tandis que ceux qui choisissent « *molécule* » sont dans le microscopique. Concernant les réponses incomplètes, les élèves qui font le choix de l'une de ces réponses sont dans l'un des niveaux précédemment cités (« *niveau macroscopique* » ou « *niveau microscopique* »). La proportion de réponses incorrectes, qui est de 28,57%, montre que les élèves ont du mal à se situer que ce soit au niveau macroscopique ou encore au niveau microscopique. Le taux d'abstention bien qu'il soit faible, n'est pas à négliger. En ce qui concerne la classe de terminale C théorique, nous n'enregistrons aucune réponse correcte. 27,27% des réponses proposées sont incorrectes et 72,73% des réponses proposées sont incomplètes. La proportion de réponses incorrectes et incomplètes traduit les difficultés des élèves.

En ce qui concerne la classe de terminale D1 expérimentale, aucun élève ne propose une réponse correcte, 35,71% proposent une réponse incorrecte et 64,29% proposent une réponse incomplète. Concernant la classe de terminale D1 théorique, nous avons 21,42% de réponses correctes, 28,57% proposent une réponse incorrecte, 42,85% proposent une réponse incomplète et 7,14% ne proposent pas de réponse.

En classe de terminale D2 expérimentale, nous avons 5,88% de réponses correctes, 47,06% de réponses incorrectes et 47,06% de réponses incomplètes. En classe de terminale D2 théorique, nous avons 5,88% de réponses correctes, 41,17% de réponses incorrectes et 52,94% de réponses incomplètes.

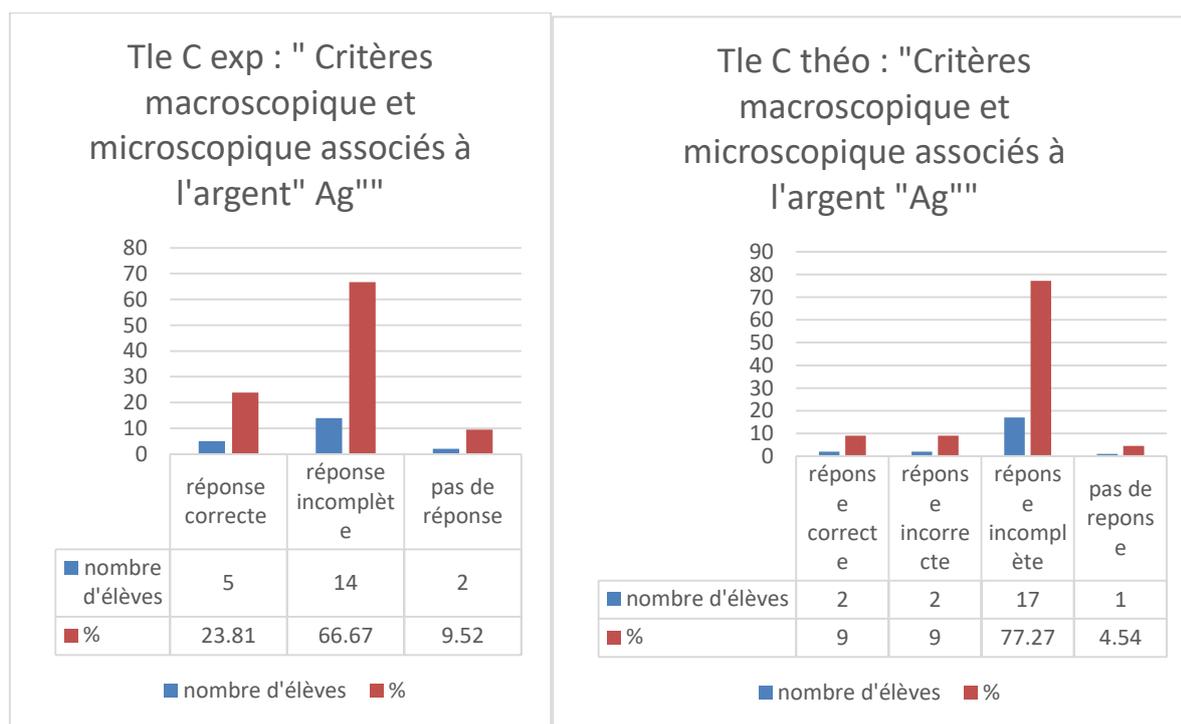
### **11-2-16 Bilan des analyses *a priori* de la question 5 pour l'ensemble des classes**

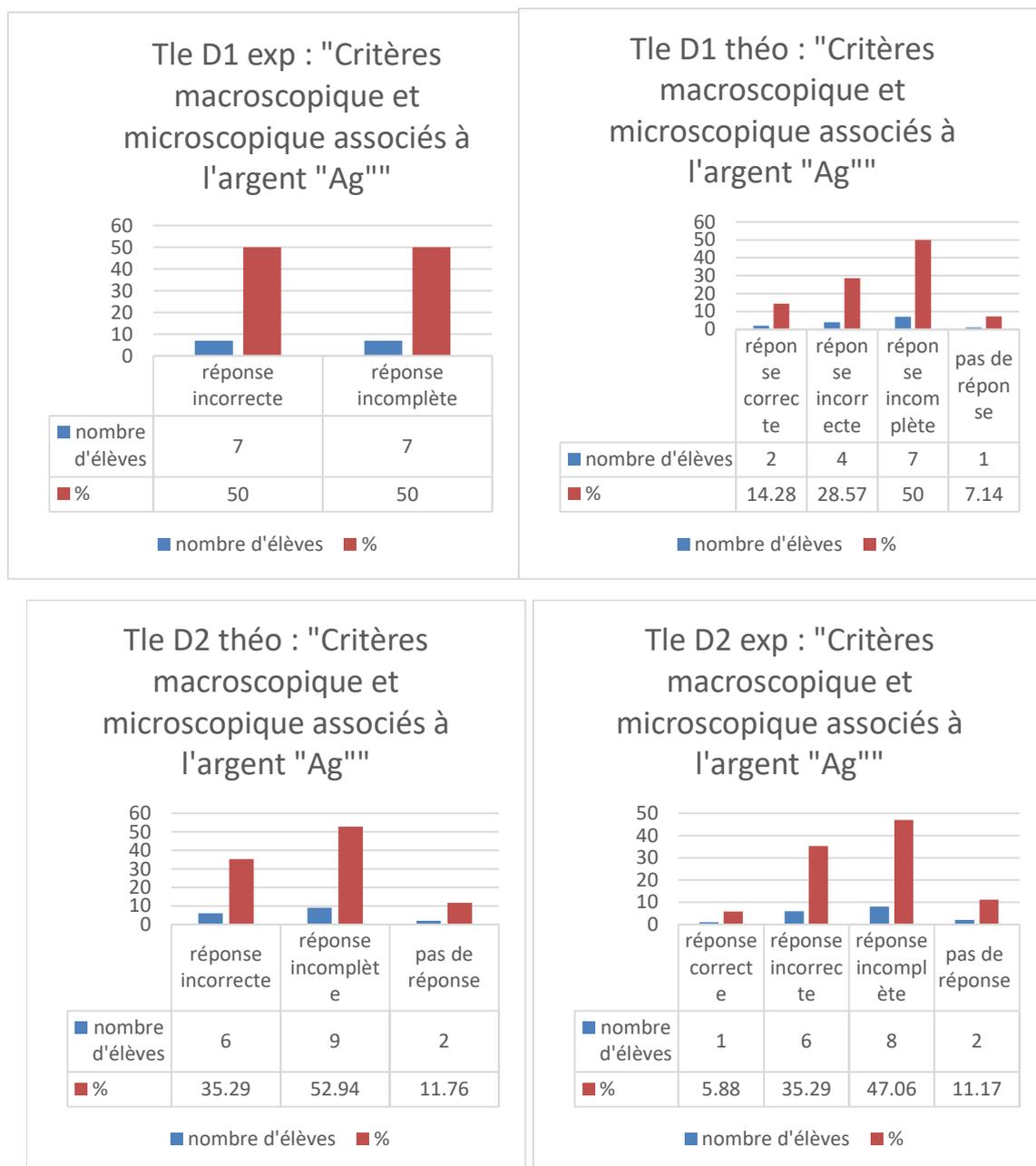
Le bilan des réponses correctes est mauvais. En effet, moins de 4 élèves de chacune des classes choisissent les deux réponses correctes. Dans de nombreuses classes, on n'enregistre aucun choix des deux réponses à la fois (terminale C théorique et D1 expérimentale). De manière générale, ces résultats montrent que les élèves ne savent pas identifier les critères macroscopique et microscopique. Dans plupart des classes, on note des réponses incorrectes, qui montrent que les élèves ne sont pas suffisamment outillés pour répondre à la question. La classe de terminale D1 théorique possède la plus grande proportion de réponses correctes (21,42%). La classe de terminale D2 expérimentale détient la plus grande proportion de réponses incorrectes (47,06%). Concernant les réponses incomplètes, la classe de terminale C

théorique détient le record (72,73%). Ces résultats sont similaires dans la plupart des classes (faible proportion de réponses correctes, proportions voisines de réponses incorrectes et incomplètes), ce qui semble confirmer l'homogénéité des groupes constitués.

### 11-2-17 Résultats des analyses *a priori* de la question 6 pour l'ensemble des classes

La question 6 est à choix multiple (« Choisir la (ou les) bonne(s) réponse(s). Ag représente : « a) un corps pur simple b) un corps pur composé c) un atome d) une molécule e) un mélange. » l'élève peut aussi choisir l'option « f) aucune de ces réponses » ou bien « g) je ne sais pas ». Elle concerne les critères macroscopique et microscopique associés à « Ag ». Dans cette question, les réponses attendues sont « a) un corps pur simple » et « c) un atome ». L'élève qui choisit « atome » est dans le microscopique et celui qui choisit « corps pur simple » est dans le macroscopique. Regardons les résultats des différentes classes.





**Graphique 20 : Résultats de la sixième question pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 20, nous avons :

En classe de terminale C expérimentale, 23,81% des élèves proposent une réponse correcte, 66,67% proposent une réponse incomplète et 9,52% ne proposent pas de réponse. Comme exemple de réponse correcte, nous avons les réponses « *corps pur simple* » et « *atome* » à la fois. Les élèves qui donnent comme réponse « *corps purs simple* » uniquement attribuent un critère macroscopique, ceux qui donnent « *atome* » attribuent un critère microscopique. Pour

ceux qui proposent les deux réponses, ils attribuent les deux critères à la fois. En classe de terminale C théorique, nous avons 9% des élèves qui proposent une réponse correcte, 9% proposent une réponse incorrecte, 77,27% proposent une réponse incomplète et 4,54% ne proposent pas de réponse. Parmi les réponses incorrectes, nous retrouvons les réponses « une correcte et une incorrecte » d'une part, et d'autre part les réponses totalement incorrectes. Comme exemple de réponse « correcte et incorrecte » à la fois nous avons : « *corps pur simple* » et « *molécule* ». Les élèves, bien que donnant une des deux réponses incorrectes, sont dans deux niveaux. Comme exemple de réponse purement incorrecte nous avons « *molécule* ». Le problème se situerait au niveau de la réponse molécule.

En classe de terminale D1 expérimentale, nous avons 50% de réponses correctes et 50% de réponses incorrectes. Concernant la classe de terminale D1 théorique, nous avons 14,28% de réponses correctes, 28,57% de réponses incorrectes, 50% de réponses incomplètes et un taux d'abstention de 7,14%.

En classe de terminale D2 expérimentale, nous avons 5,88% de réponses correctes, 35,29% de réponses incorrectes, 47,06% de réponses incomplètes et un taux d'abstention de 11,17%. Concernant la classe de terminale D2 théorique, nous n'enregistrons pas de réponses correctes. Nous notons 35,29% de réponse incorrectes, 52,94% de réponses incomplètes et un taux d'abstention de 11,76%.

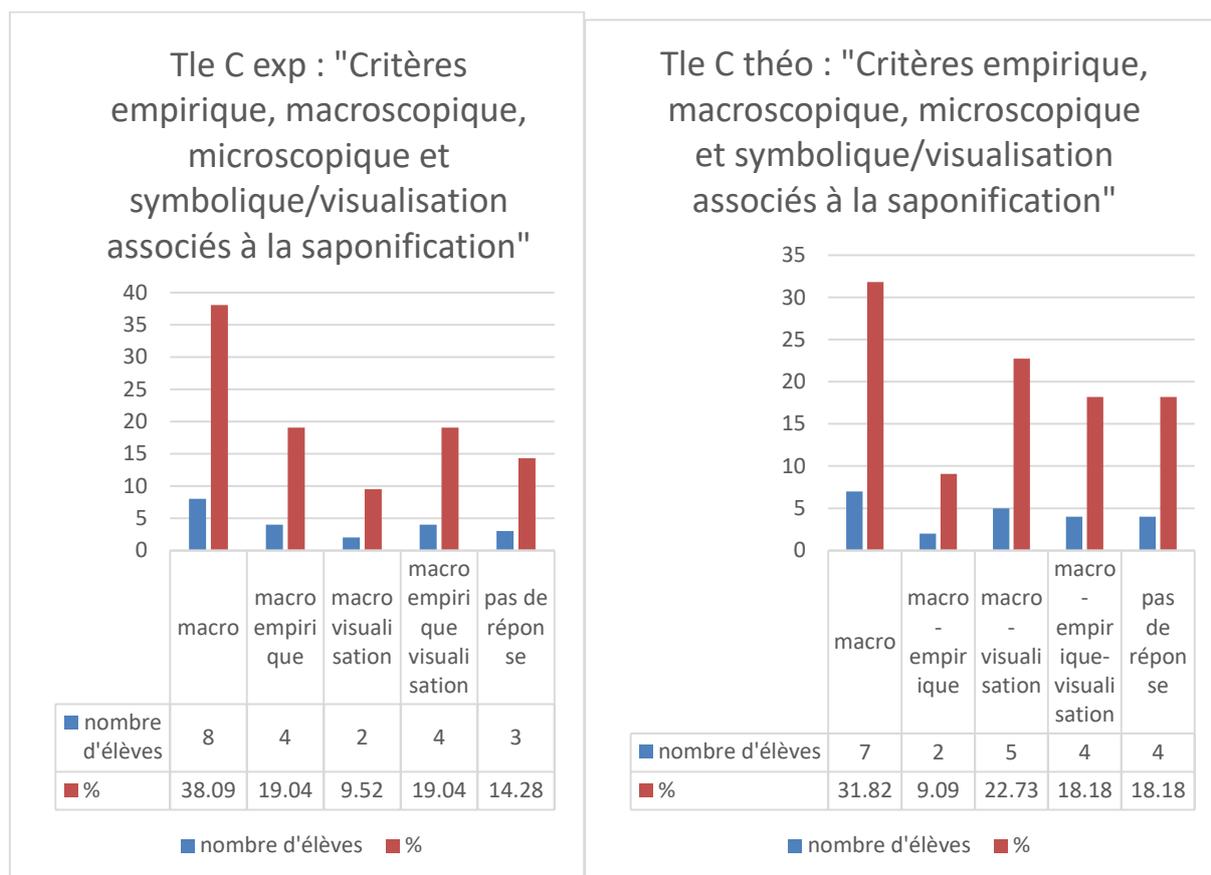
### **11-2-18 Bilan des analyses *a priori* de la question 6 pour l'ensemble des classes**

À l'exception de la classe de terminale C expérimentale où l'on observe 5 élèves qui proposent le choix des deux bonnes réponses à la fois, les autres classes affichent moins de deux élèves par classe. Les élèves proposent majoritairement comme réponse incomplète « *atome* », et comme réponse incorrecte « *molécule* », ce qui indique une confusion de leur part bien qu'ils se situent au niveau microscopique. La proportion de réponses incomplètes domine toutes les autres catégories de réponse. En dehors de la classe de terminale D2 expérimentale où cette proportion est de 47,07%, dans les autres classes, le minimum est de 50% et le maximum de 77,27%, ce qui semble indiquer que la plupart des élèves sont dans un seul niveau de savoir. De plus, très peu d'élèves associent des critères macroscopiques à l'argent « *corps pur simple* ». Ces différents constats nous montrent que les élèves ont des difficultés à la fois

au niveau macroscopique et au niveau microscopique. Il est intéressant dans la suite (question 7) de regarder le langage des élèves afin de voir les différents niveaux qu'ils emploient.

### 11-2-19 Résultats des analyses *a priori* de la question 7 pour l'ensemble des classes

La question 7 est la suivante : « *Nous désirons fabriquer du savon ; après avoir décrit au maximum les réactifs à utiliser, leurs rôles, proposer un protocole de fabrication du savon* ». Dans cette question, on s'intéresse au niveau utilisé par l'élève au cours de sa description. Par exemple, si l'élève utilise les termes « *solide* », « *liquide* », « *réactif* », « *produit* », on range dans le niveau macroscopique « *macro* ». Si l'élève utilise les termes comme « *bécher, spatule, erlenmeyer, ...* », on range la réponse dans le niveau « *empirique* ». Si l'élève utilise les symboles chimiques des atomes ou des molécules, on range la réponse dans le niveau symbolique /visualisation « *symbole /visualisation* ». Si l'élève emploie les termes tels que « *atome* », « *molécule* », « *ion* »... on range la réponse dans microscopique « *micro* ».





**Graphique 21 : Résultats de la septième question pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 21, nous avons :

En classe de terminale C expérimentale, 38,09% des élèves emploient le niveau macroscopique uniquement, 19,04% emploient les niveaux empirique et macroscopique à la fois. 9,42% emploient les niveaux macroscopiques et visualisation à la fois. 19,04% des élèves emploient les niveaux macroscopique, empirique et visualisation à la fois. 14,28% ne proposent pas de réponse. Comme exemple de réponse, nous avons : pour le niveau macroscopique uniquement, « *Pour fabriquer le savon, on utilise une base forte, un triester, pour former un glycérol et un carboxylate* ». Dans cet exemple de réponse, nous avons les termes « *savon* », « *triester* », « *glycérol* » qui appartiennent au niveau macroscopique puisqu'ils sont employés en tant que substances pour triester et glycérol. Comme exemple de réponse qui illustre l'emploi de deux niveaux de savoir, nous avons d'une part la proposition ci-après : « *les réactifs sont : le triester d'acide palmitique et la soude caustique. Le protocole de fabrication est : la préparation de la solution de soude ; saponification avec chauffage et agitation cristallisation du savon ou relargage, obtention du savon* ». Dans cet exemple de réponse, nous avons par exemple le terme « *soude* » pour le niveau macroscopique et « *relargage* » pour le niveau empirique. D'autre part, nous avons l'emploi des niveaux macroscopique et symbolique/visualisation. Comme exemple, nous avons : « *les réactifs pour la fabrication du savon sont : un polyester obtenu après chauffage et extraction dans un corps gras et la soude ( $Na^+ + OH^-$ ) ces réactifs réagissent dans un récipient pour former du glycérol et du savon* ». Dans ce dernier exemple, nous avons « *corps gras* » pour le niveau macroscopique, « *chauffage* » pour le niveau empirique et « *( $Na^+ + OH^-$ )* » pour le niveau symbolique/visualisation. En ce qui concerne la classe de terminale C théorique, 31,82% des élèves emploient exclusivement le niveau macroscopique, 9,02% emploient les niveaux empirique et macroscopique à la fois, 22,73% emploient les niveaux macroscopique et visualisation à la fois. 18,18% emploient trois niveaux de savoir à la fois (niveau empirique, niveau macroscopique, niveau symbolique/visualisation). 18,18% ne proposent pas de réponse.

En classe de terminale D1 expérimentale, 14,29% des élèves emploient le niveau macroscopique uniquement, 64,29% les niveaux empirique et macroscopique, 14,29% les niveaux macroscopique et visualisation à la fois et nous avons un taux d'abstention de 7,14%. En classe de terminale D1 théorique, nous avons 42,86% des élèves qui emploient uniquement le niveau macroscopique, 28,57% emploient les niveaux macroscopique et empirique à la fois.

14,29% des élèves emploient les niveaux macroscopique et symbolique / visualisation à la fois, et 14,29% ne proposent pas de réponse.

En classe de terminale D2 expérimentale, nous avons 29,41% des élèves qui emploient le niveau macroscopique uniquement, 29,41% pour les niveaux macroscopique et empirique. 17,65% pour les niveaux macroscopique et symbolique/visualisation, 5,88% pour les niveaux macroscopique, empirique et symbolique /visualisation. Enfin, nous avons un taux d'abstention de 17,65%. En classe de terminale D2 théorique, nous avons 41,18% des élèves qui emploient exclusivement le niveau macroscopique, 35,29% pour les niveaux macroscopique et empirique à la fois, 5,88% pour les niveaux macroscopique et symbolique/visualisation, 5,88% pour les niveaux macroscopique, empirique et symbolique/ visualisation à la fois, le taux d'abstention est de 11,76%.

Ces différentes analyses nous conduit au bilan ci-après.

### **11-2-20 Bilan des analyses *a priori* de la question 7 pour l'ensemble des classes**

Dans cette question et de manière commune à toutes les classes, les niveaux de savoir sont généralement utilisés soit de manière unique, soit de manière double (deux niveaux) à la fois, soit de manière triple (trois niveaux à la fois) « macroscopique, empirique et symbolique/visualisation ». Par exemple, dans les classes ci-après : terminales C (expérimentale et théorique), terminales D1 théorique et D2 théorique, les élèves emploient majoritairement le niveau macroscopique. Dans les classes de terminales D1 expérimentale et D2 expérimentale, les élèves emploient majoritairement deux niveaux. Pour le cas de trois niveaux de savoir, ils sont faiblement employés en terminale D2 et restent inférieurs à 20% pour les classes de terminale C et D1. Le niveau microscopique n'est employé dans aucune des classes. Compte tenu du fait que les élèves emploient majoritairement soit le niveau macroscopique seul soit le niveau macroscopique et le niveau empirique à la fois, nous pouvons affirmer que ces derniers parlent beaucoup plus de ce qu'ils observent, sans pour autant expliquer ou représenter les phénomènes. De manière générale, bien que les réponses soient diversifiées, elles sont en accord avec la question posée puisque nous retrouvons le niveau macroscopique dans la plupart des réponses. Les élèves n'ont pas essayé d'expliquer les phénomènes mais la question ne les invitait pas forcément à le faire.

### 11-3 Conclusion : bilan général des analyses *a priori*

Cette conclusion permet de compléter l'étude des difficultés relevées dans la revue de la littérature afin de répondre également à la première sous question de recherche concernant les origines des difficultés rencontrées par les élèves au cours de la circulation entre les niveaux de savoir. Ce bilan d'analyse *a priori* qui retrace ces origines s'effectue sur quatre points principaux :

- du point de vue de l'homogénéité des groupes, le rôle essentiel du prétest était de s'assurer de l'homogénéité des groupes constitués. Le test t de student ainsi que le test de Fisher (ANOVA) ont permis de montrer qu'il n'y a pas de différence entre les groupes constitués.

- du point de vue des appréhensions des élèves sur les niveaux de savoir, les élèves assimilent majoritairement le macroscopique au « *visible* » et au « *grand* ». Concernant le microscopique, ils l'assimilent au « *petit* » ou encore à « *l'invisible* ». Pour le niveau symbolique, ils proposent « *symbole* », « *représentant* », « *convention* ». Lorsqu'ils donnent des définitions correctes du macroscopique, du microscopique et du symbolique, ils ne justifient pas toujours leur définition ce qui témoigne de la maîtrise partielle de ces concepts. Nous avons également noté le fait que certains élèves donnent des exemples corrects malgré la définition incorrecte, ce qui semble traduire un problème de formulation des réponses.

- du point de vue des critères empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation, certains parlent de corps purs et sont donc dans le macroscopique et ceux qui parlent d'atome, molécules sont dans le microscopique. Dans la plupart des résultats, les élèves sont dans un seul niveau ; très peu d'élèves sont dans les deux niveaux à la fois. Nous avons également noté le fait que certains élèves attribuent le critère corps pur simple à l'éthanol et corps pur composé à l'argent et au dioxygène. On pourrait penser que certains élèves semblent assimiler la juxtaposition des lettres « A » et « g » qui forme l'atome « Ag » à une molécule.

- du point de vue de l'utilisation des niveaux de savoir dans les réponses des élèves lors de la question 7, le niveau macroscopique est fortement utilisé dans l'ensemble des classes à l'exception de la classe de terminale D1 expérimentale. Certains niveaux sont très peu employés lorsqu'on passe d'une classe à une autre (niveau symbolique/visualisation). D'autres niveaux sont quasiment inutilisés (niveau symbolique). Ces différentes questions ont été posées aux

élèves avant le TP. Il est intéressant de regarder les différentes réponses des élèves après le TP portant sur la saponification afin de déceler ou non l'évolution des conceptions sur les niveaux de savoir après manipulation.

## **CINQUIÈME PARTIE : ANALYSES *A POSTERIORI*, COMPARAISON DES ANALYSES *A PRIORI* ET *A POSTERIORI*, DISCUSSION**

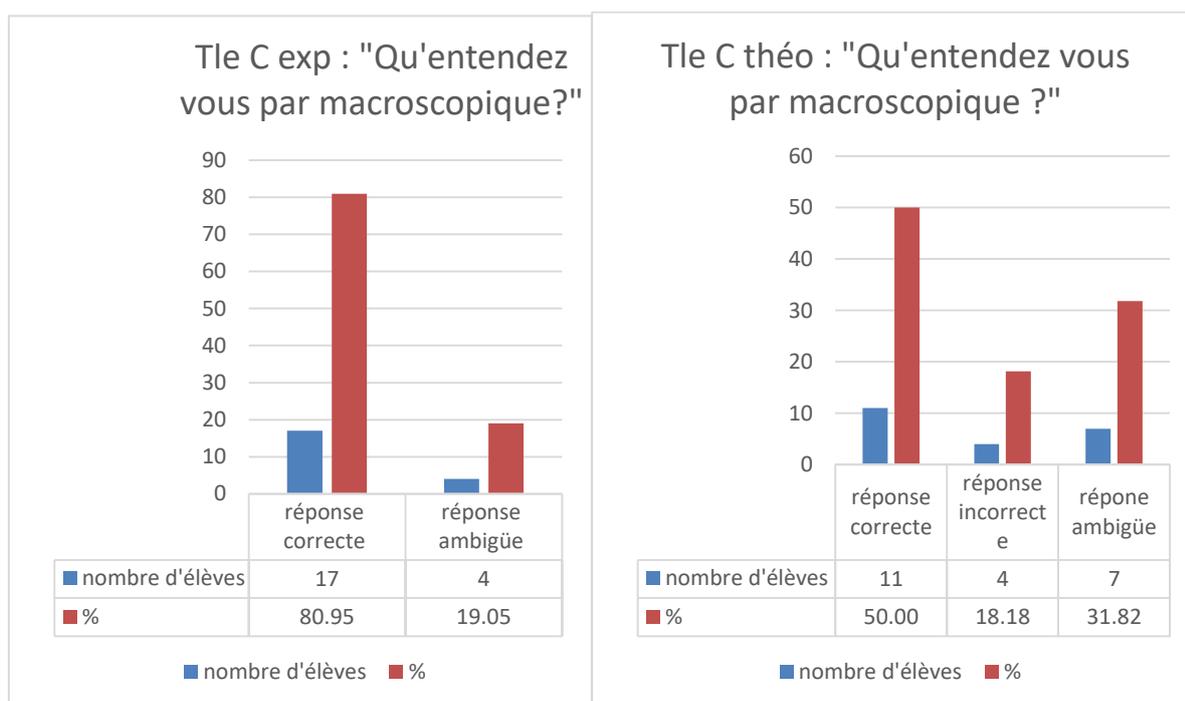
Cette partie comporte trois chapitres :

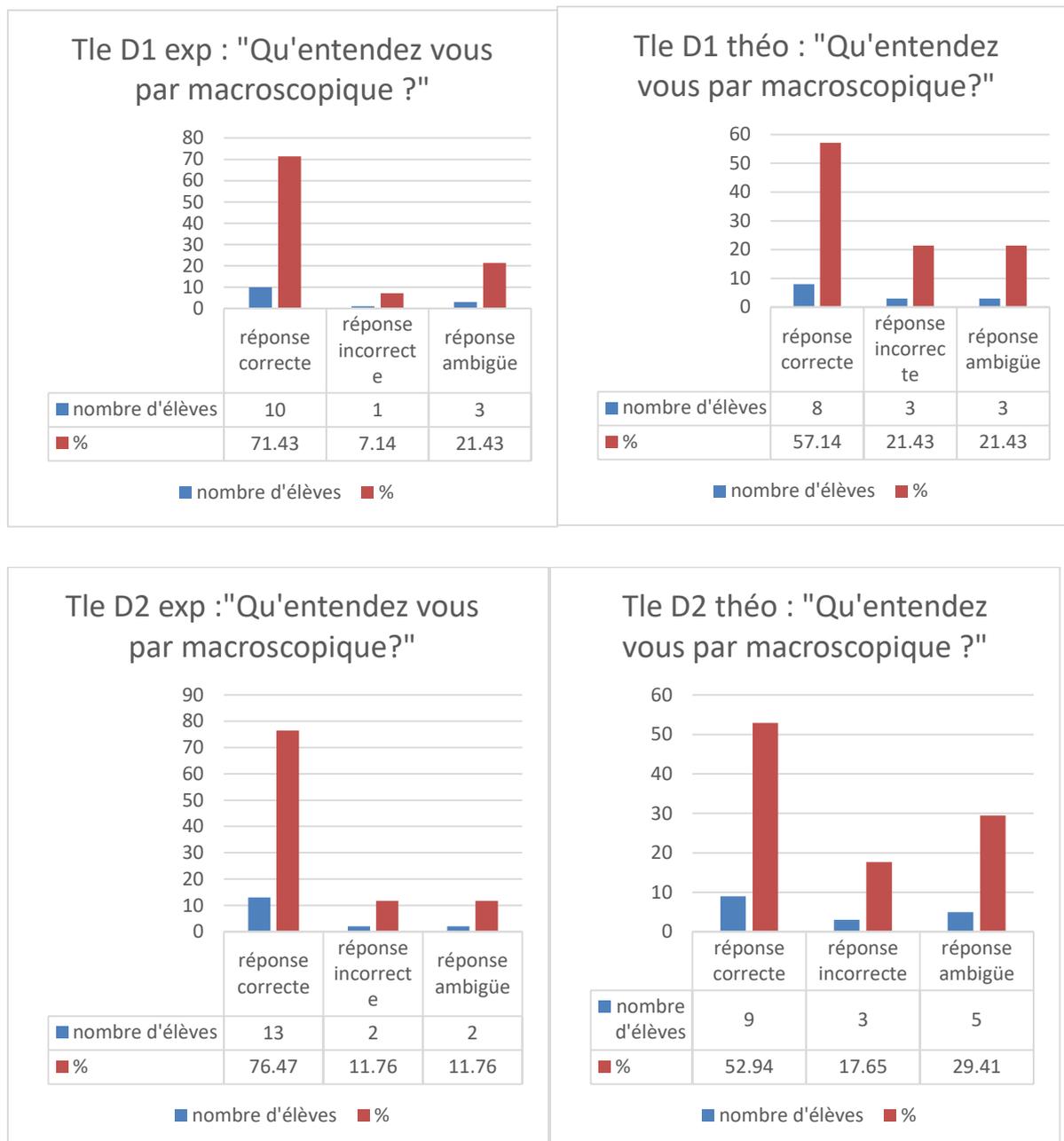
- un premier chapitre qui présente les analyses *a posteriori* pour chacune des classes constituées à l'issue du prétest,
- un deuxième chapitre qui compare les analyses *a priori* et les analyses *a posteriori* pour une validation des hypothèses engagées dans la recherche,
- un troisième chapitre qui discute les résultats obtenus.

## CHAPITRE 12 : RÉSULTATS ET ANALYSES *A POSTERIORI*

Dans cette partie, on s'intéresse aux résultats du post test. De manière similaire au chapitre précédent, on présentera les résultats question après question pour l'ensemble des classes. Un bilan d'analyse est effectué après l'analyse des résultats pour les six classes. Une seconde analyse globale est effectuée à la fin de toutes les questions. Rappelons que les sept premières questions du prétest ont été reportées au post test afin de permettre une comparaison dans le chapitre 13.

### 12-1 Résultats des analyses *a posteriori* de la première question du post test pour l'ensemble des classes





**Graphique 22 : Résultats de la première question du post test pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 22 nous avons :

En classe de terminale C expérimentale, nous avons 80,95% de réponses correctes 19,05% de réponses ambiguës. Comme exemple de réponses correctes, nous avons : « *macroscopique : est-ce qu'on voit sans faire d'effet et représenté a des dimensions grandes* ». Dans cet exemple de réponse, nous avons les termes « grand », et « *visible* » qui appartiennent au niveau macroscopique. Comme exemple de réponses ambiguës, nous avons : « *la*

*macroscopique renvoie aux grosses molécules visibles à l'œil* ». Cette réponse est ambiguë puisqu'elle contient le terme « *molécule* » qui appartient au niveau microscopique et le terme « *visible* » pour le niveau macroscopique. En classe de terminale C théorique, nous avons 50% des élèves qui proposent une réponse correcte, 18,18% proposent une réponse incorrecte et 31,82% proposent une réponse ambiguë. Comme exemple de réponses incorrectes, nous avons : « *c'est un corps constitué de deux à plusieurs corps* ». Cette dernière réponse bien qu'elle soit difficile à exploiter, ne renvoie à aucun niveau de savoir.

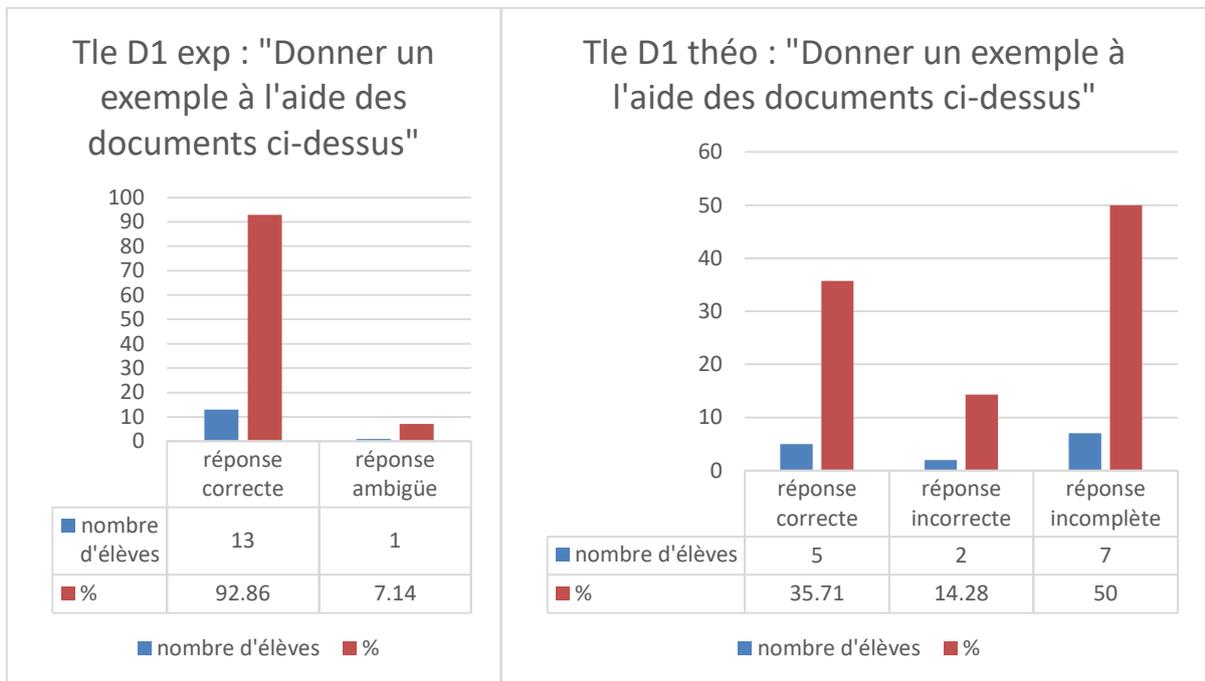
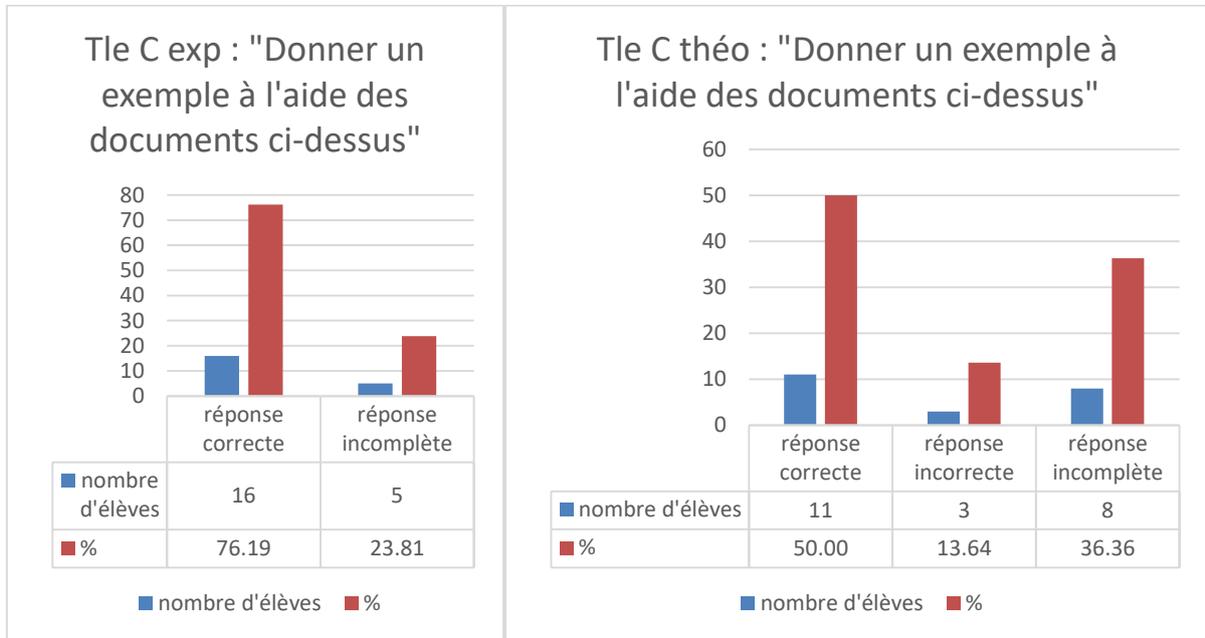
En classe de terminale D1 expérimentale, nous avons 71,43% de réponses correctes, 7,14% de réponses incorrectes et 21,43% de réponses ambiguës. En classe de terminale D1 théorique, nous avons 57,14% de réponses correctes, 21,43% de réponses incorrectes et 21,43% de réponses ambiguës.

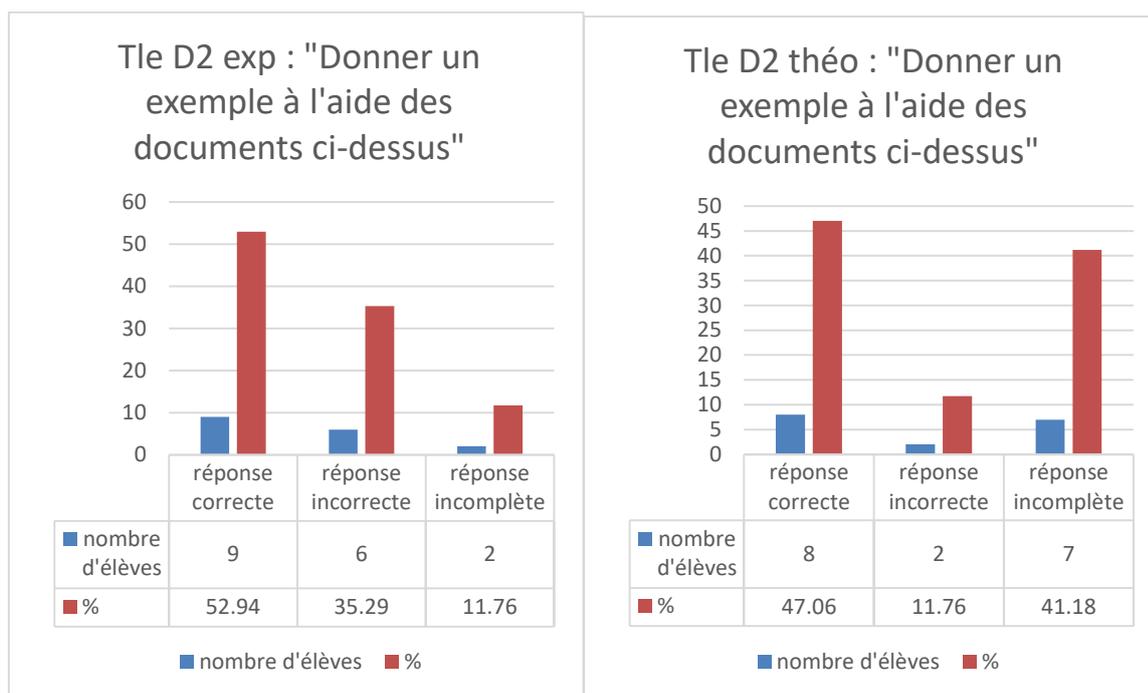
En classe de terminale D2 expérimentale, nous avons 76,47% de réponses correctes, 11,76% de réponses incorrectes et 11,76% de réponses ambiguës. En classe de terminale D2 théorique, nous avons 52,94% de réponses correctes, 17,65% de réponses incorrectes et 29,41% de réponses ambiguës.

### **12-1-1 Bilan des analyses *a posteriori* de la première question du post test pour l'ensemble des classes**

En ce qui concerne les réponses correctes, les proportions sont plus élevées dans les classes expérimentales que dans les classes théoriques. Bien que ces dernières proportions soient élevées dans les classes expérimentales, cela ne renseigne pas suffisamment sur les appréhensions des élèves sur le niveau macroscopique. Ce qui est commun à toutes les classes concerne les réponses ambiguës et incorrectes. En effet, comme précisé au cours des analyses, la plupart des réponses incorrectes et ambiguës sont en rapport avec deux niveaux de savoir (macroscopique et microscopique). Des exemples de réponses ont été cités afin de témoigner des difficultés communes à l'ensemble des classes, d'où l'exploitation de l'exemple associé à la définition du macroscopique : si un élève donne une bonne définition du macroscopique, puis associe un exemple correct cela semble montrer qu'il a une bonne appréhension du macroscopique.

**12-2 Résultats des analyses *a posteriori* de l'exemple associé à la première question du post test (question 1-1) pour l'ensemble des classes**





**Graphique 23 : Résultats de l'exemple associé à la première question du post test pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 23, nous avons :

En classe de terminale C expérimentale, 76,19% des élèves proposent une réponse correcte et 23,81% proposent une réponse incomplète. Comme exemple de réponse correcte, nous avons : « *illustration: lorsqu'on plonge le sulfate de cuivre dans l'eau, le mélange prend une couleur bleu visible à l'œil nu* ». Dans cet exemple de réponse, nous avons le terme « *couleur* » qui illustre le niveau macroscopique. Concernant l'exemple de réponse incomplète, nous avons : « *le document b* ». Cette réponse est difficile à exploiter puisqu'il est demandé à l'élève de s'appuyer sur les documents et non de choisir le document approprié. Pour la classe de terminale C théorique, nous avons 50% de réponses correctes, 13,64% de réponses incorrectes et 36,36% de réponses incomplètes. Comme exemple de réponses incorrectes, nous avons : : « *Cu, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>* ». Cette dernière réponse illustre le niveau symbolique.

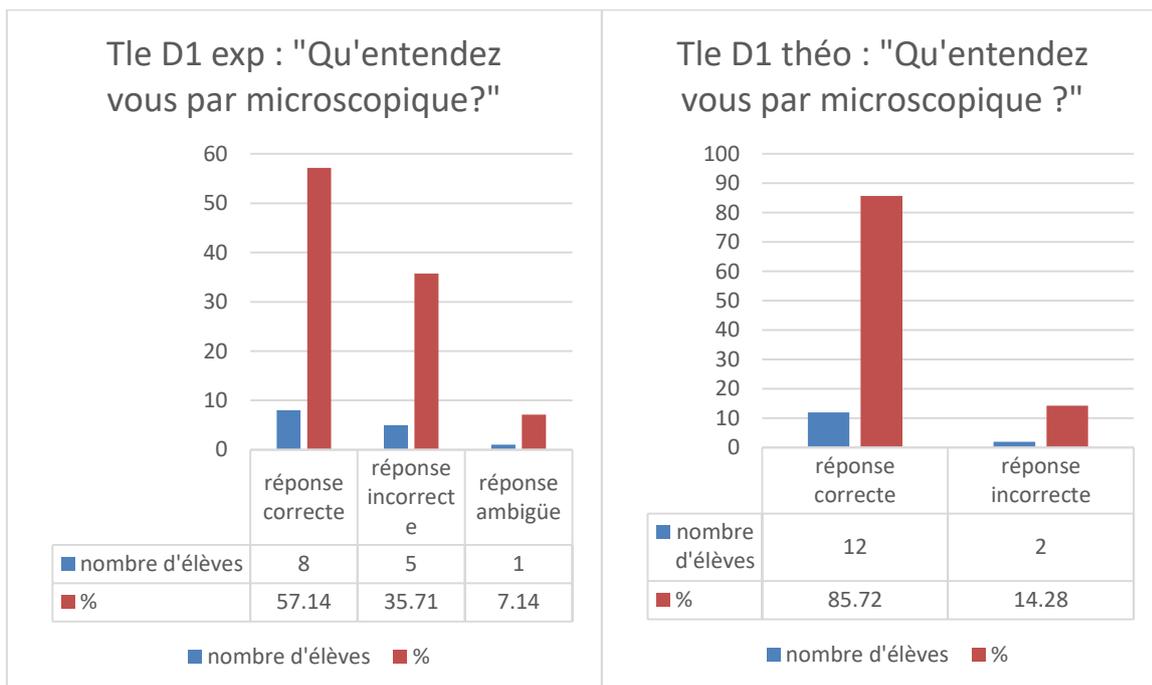
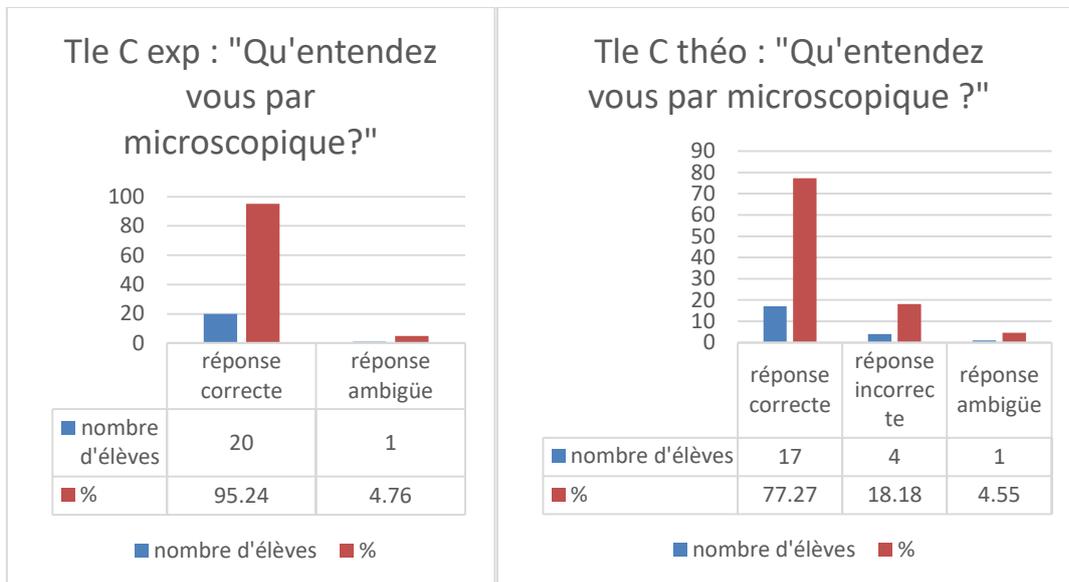
En classe de terminale D1 expérimentale, nous avons 92,86% de réponses correctes et 7,14% de réponses ambiguës. Concernant la classe de terminale D1 théorique, nous avons 35,71% de réponses correctes, 14,28% de réponses incorrectes et 50% de réponses incomplètes.

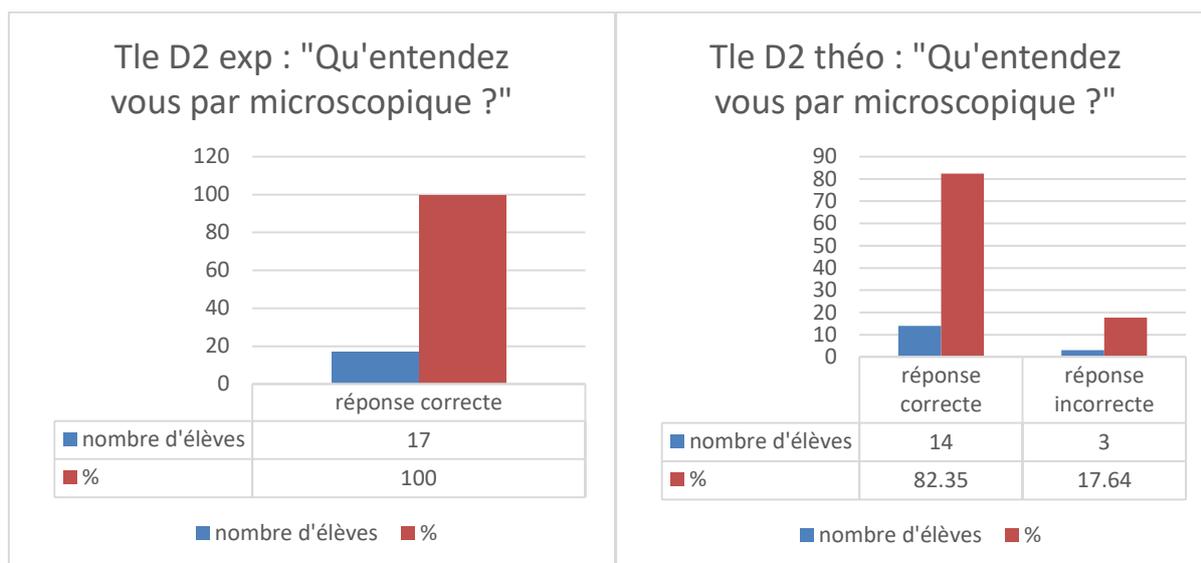
En classe de terminale D2 expérimentale, nous avons 52,94% de réponses correctes, 35,29% de réponses incorrectes et 11,76% de réponses incomplètes. En classe de terminale D2 théorique, nous avons 47,06% de réponses correctes, 11,76% de réponses incorrectes et 41,18% de réponses incomplètes.

### **12-2-1 Bilan des analyses *a posteriori* de l'exemple associé au macroscopique pour l'ensemble de classes**

Ces résultats semblent indiquer des difficultés des apprenants au niveau macroscopique dans une moitié des classes. En effet, ce qui est commun aux classes théoriques concerne la proportion des réponses correctes qui reste inférieure ou égale à 50% dans l'ensemble des classes (théoriques). En prenant en compte la question précédente, on se rend compte que la proportion de réponses correctes passe de 80,95% à 79,19% en classe de terminale C expérimentale, elle est constante en classe de terminale C théorique (50%). En classe de terminale D1 expérimentale, on note une augmentation de 71,43% à 92,86%. En classe de terminale D1 théorique, on note une baisse de 57,14% à 35,71%. En classe de terminale D2 expérimentale, on note une baisse de 76,47% à 52,94%. En classe de terminale D2 théorique, on note une baisse de 52,94% à 47,06%. Intéressons-nous aux élèves qui donnent une définition correcte du macroscopique ainsi qu'un exemple correct : nous en avons 57,14%, en classe de terminale C expérimentale, 31,81% pour la classe de terminale C théorique, 64,28% pour la classe de terminale D1 expérimentale, 14,28% pour la classe de terminale D1 théorique, 52,94% pour la classe de terminale D2 expérimentale et 29,41% pour la classe de terminale D2 théorique. Ces derniers résultats montrent que sur l'ensemble des deux questions, les élèves de la classe de terminale D1 expérimentale répondent mieux que ceux des autres classes. Nous observons que les résultats des classes expérimentales sont nettement meilleurs que ceux des classes théoriques.

### 12-3 Résultats des analyses *a posteriori* de la deuxième question du post test pour l'ensemble des classes





**Graphique 24 : Résultats de la deuxième question du post test pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 24, nous avons :

En classe de terminale C expérimentale, 95,24% de réponses correctes et 4,76% de réponses ambiguës. Tous les élèves proposent des réponses en rapport soit à « *l'invisible* » soit au « *petit* » soit à ces deux réponses à la fois : un élève a écrit : « *c'est une molécule tellement petite qui n'est visible qu'a l'aide d'un microscope* ». Concernant la réponse ambiguë, un élève propose la réponse ci-après : « *un objet que l'on peut voir à l'œil nu grâce à un microscope optique* ». Dans cette dernière réponse, les termes « *voir à l'œil nu* » employé rend la réponse ambiguë. En classe de terminale C théorique, nous avons 77,27% de réponses correctes, 18,18% de réponses incorrectes et 4,65% de réponses ambiguës. Comme exemple de réponses incorrectes, nous avons : « *c'est la vision d'un composé invisible à l'œil nu (à l'état but)* ». Cette dernière réponse est incorrecte puisqu'elle ne contient pas de termes susceptibles d'illustrer le niveau microscopique.

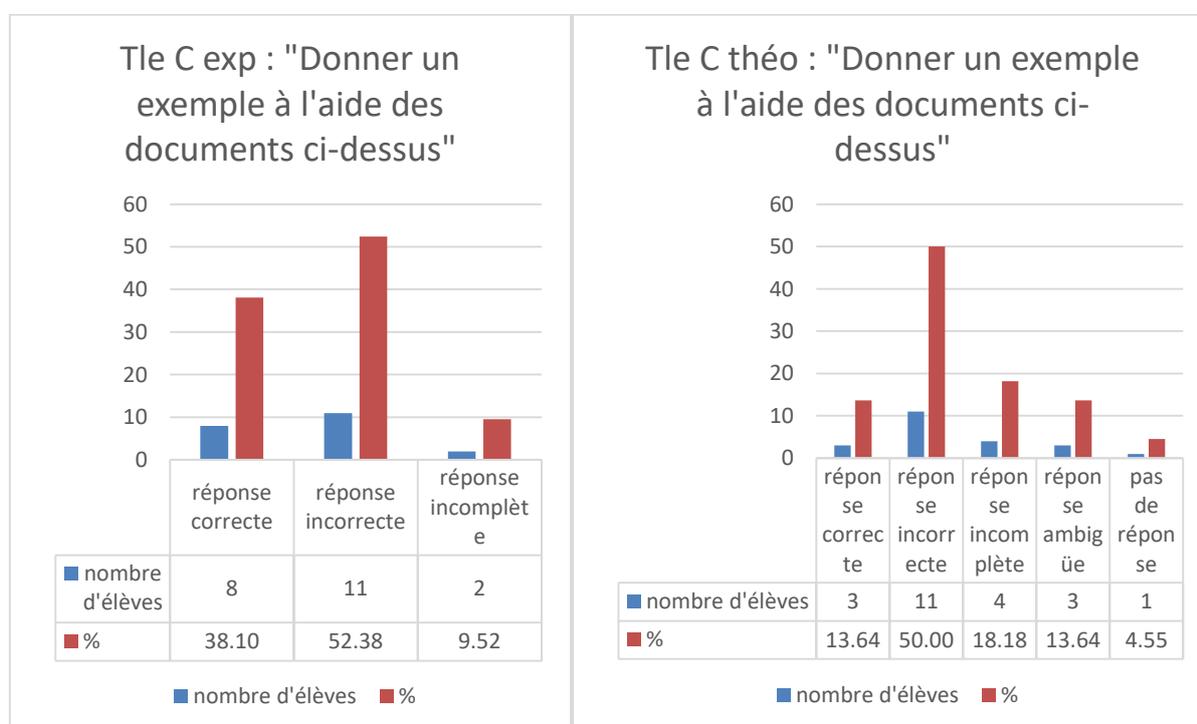
En classe de terminale D1 expérimentale, nous avons 57,14% de réponses correctes, 35,71% de réponses incorrectes et 7,14% de réponses ambiguës. En classe de terminale D1 théorique, nous avons 85,72% de réponses correctes et 14,28% de réponses incorrectes.

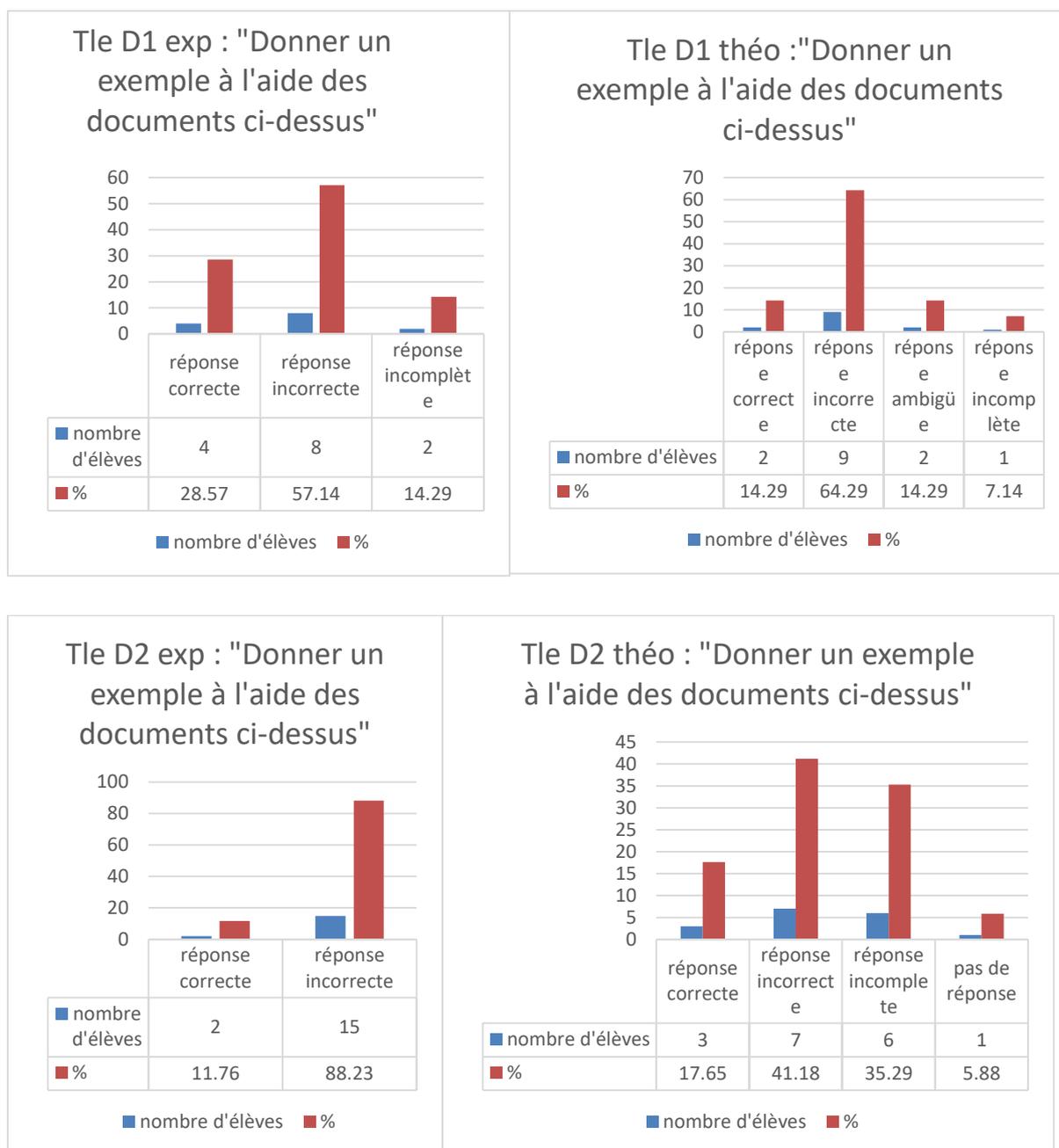
En classe de terminale D2 expérimentale, tous les élèves répondent correctement à la question. Pour la classe de terminale D2 théorique, deux catégories de réponses sont enregistrées : 82,35% de réponses correctes et 17,64% de réponses incorrectes.

### 12-3-1 Bilan des analyses *a posteriori* de la question 2 pour l'ensemble des classes

Ces différents résultats semblent se distinguer nettement de tous les autres. En effet, en ce qui concerne la proportion des réponses correctes à l'exception de la classe de terminale D1 expérimentale, ce taux reste supérieur à 77% dans les autres classes, ce qui semble indiquer que la plupart des élèves ont une bonne appréhension du niveau microscopique. La proportion des réponses incorrectes est plus élevée en classe de terminale C théorique, en terminale D1 expérimentale et en terminale D2 théorique que dans les autres. Le taux d'abstention est uniquement présent dans une classe et dans une proportion basse ce qui indique une participation massive. Enfin, ces résultats semblent indiquer que les élèves ont de bonnes conceptions du microscopique. Il est intéressant de regarder l'exemple associé au microscopique.

### 12-4 Résultats des analyses *a posteriori* de l'exemple associé à la question 2 pour l'ensemble des classes





**Graphique 25 : Résultats de l'exemple associé à la deuxième question du post test pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 25, nous avons :

En classe de terminale C expérimentale, 38,10% des élèves proposent une réponse correcte, 52,38% proposent une réponse incorrecte et 9,52% proposent une réponse incomplète. Comme exemple de réponse, nous avons : « *comme exemple nous avons les ions contenus dans la solution de sulfate de cuivre (liquide)* ». Dans cet exemple, nous avons le terme « ion » qui

illustre parfaitement le niveau microscopique. Comme exemple de réponse incorrecte, nous avons « *solution de sulfate de cuivre* ». Cette dernière réponse contient les termes qui sont relatifs au niveau macroscopique. Les élèves proposent la réponse incomplète ci-après : « *le document a* ». Cette dernière réponse est incomplète puisqu'elle n'illustre pas clairement le niveau microscopique. Concernant la classe de terminale C théorique, nous avons 13,64% de réponses correctes, 50% de réponses incorrectes, 13,64% de réponses ambiguës, 18,18% de réponses incomplètes et un taux d'abstention de 4,55%.

En classe de terminale D1 expérimentale, nous avons 28,57% de réponses correctes, 57,14% de réponses incorrectes et 14,29% de réponses incomplètes. Concernant la classe de terminale D1 théorique, nous avons 14,29% de réponses correctes, 64,29% de réponses incorrectes, 14,29% de réponses ambiguës et 7,14% de réponses incomplètes.

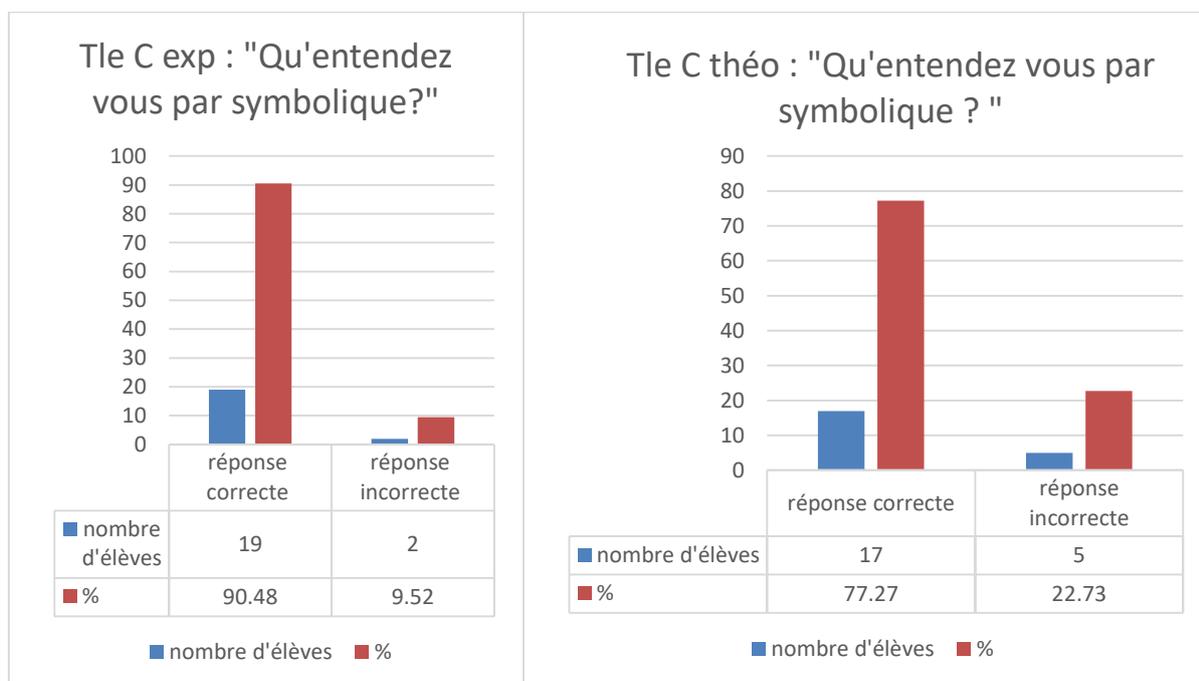
En classe de terminale D2 expérimentale, nous avons 11,76% de réponses correctes et 88,23% de réponses incorrectes. En classe de terminale D2 théorique, nous avons 17,65% de réponses correctes, 41,18% de réponses incorrectes, 35,29% de réponses incomplètes et un taux d'abstention de 5,88%.

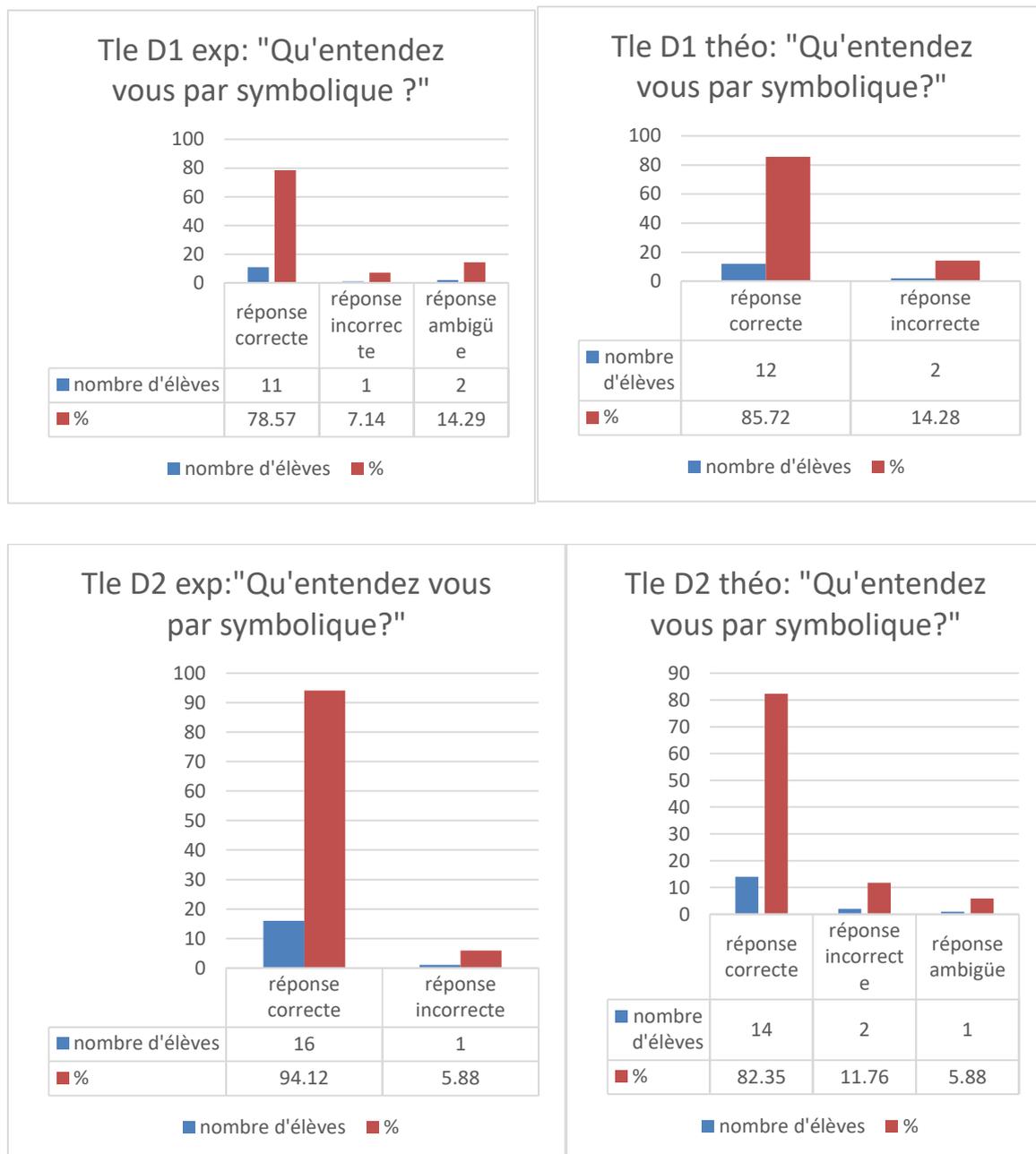
#### **12-4-1 Bilan des analyses *a posteriori* de l'exemple associé à la deuxième question du post test pour l'ensemble des classes**

Ces résultats semblent faibles dans l'ensemble des six classes. En effet, on note une baisse brutale des réponses des élèves dans toutes les classes par rapport à la question précédente. Une baisse qui varie en fonction des classes. Par exemple, en classe de terminale C expérimentale, la proportion de réponses correctes baisse de 95,24% à 38,10%. En classe de terminale C théorique, nous notons une baisse de 77,27% à 13,64%. En classe de terminale D1 expérimentale, il y a une baisse de 57,14% à 28,57%. En classe de terminale D1 théorique nous notons une baisse de 85,72% à 14,29%. Pour la classe de terminale D2 expérimentale, la baisse est plus importante puisqu'on passe de 100% à 11,76%. Il en est de même pour la classe de terminale D2 théorique où nous passons de 82,35% à 17,65%. Cette variation de réponses s'explique par des confusions des élèves puisqu'on a noté des exemples de réponses dans certaines classes qui se situaient entièrement au niveau symbolique ou encore au niveau macroscopique. Concernant les réponses ambiguës, dans la plupart des cas elles ont un sens difficile à cerner. Pourtant la maîtrise de l'exemple associé est un élément de confirmation de

l'appréhension de l'élève sur le microscopique. Intéressons-nous aux élèves qui répondent correctement à la fois aux questions 2 et 2-1. 33,33% des élèves répondent correctement aux deux questions en classe de terminale C expérimentale, 13,64% pour la classe de terminale C théorique, 28,57% pour la classe de terminale D1 expérimentale, 14,28% pour la classe de terminale D1 théorique, 11,76% en terminale D2 expérimentale et 17,65% en terminale D2 théorique. Ces derniers pourcentages nous montrent que la plupart des élèves qui donnent une bonne définition du microscopique ne sont pas en mesure de justifier leur choix ce qui remet en cause leur compréhension du microscopique. Une remise en cause qui semble se justifier par le fait que le terme « *microscopique* » est rarement présent dans le vocabulaire des élèves.

### 12-5 Résultats des analyses *a posteriori* de la troisième question du post test pour l'ensemble des classes





**Graphique 26 : Résultats de la troisième question du post test pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 26, nous avons :

En classe de terminale C expérimentale, nous avons 90,48% de réponses correctes et 9,52% de réponses incorrectes. Comme exemple de réponse correcte, un élève propose la réponse ci-après : « *on entend par symbolique, la représentation ou un symbole d'un composé* ». C'est une réponse correcte : elle intègre les termes « *représentation* » et « *symbole* ». Pour les réponses incorrectes, les élèves proposent dans la plupart des cas des non-sens. Par exemple,

un élève écrit : « *c'est tout renvoie à une marque quelconque pouvant être éventuellement mémorisé* ». Concernant la classe de terminale C théorique, nous avons 77,27% de réponses correctes et 22,73% de réponses incorrectes.

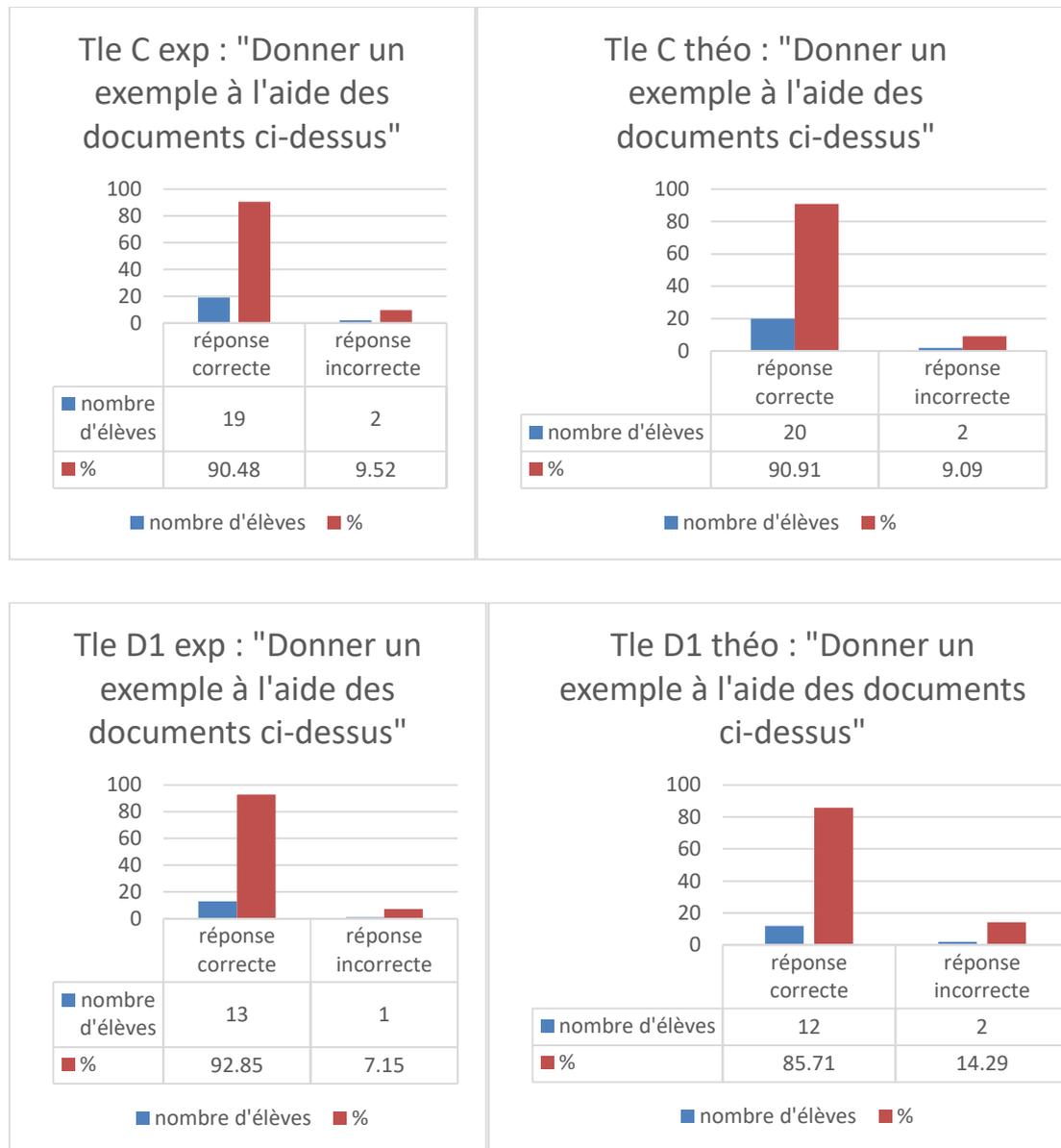
En classe de terminale D1 expérimentale, nous avons 78,57% de réponses correctes, 7,14% de réponses incorrectes et 14,29% de réponses ambiguës. En classe de terminale D1 théorique, 85,72% des élèves proposent une réponse correcte et 14,28% proposent une réponse incorrecte.

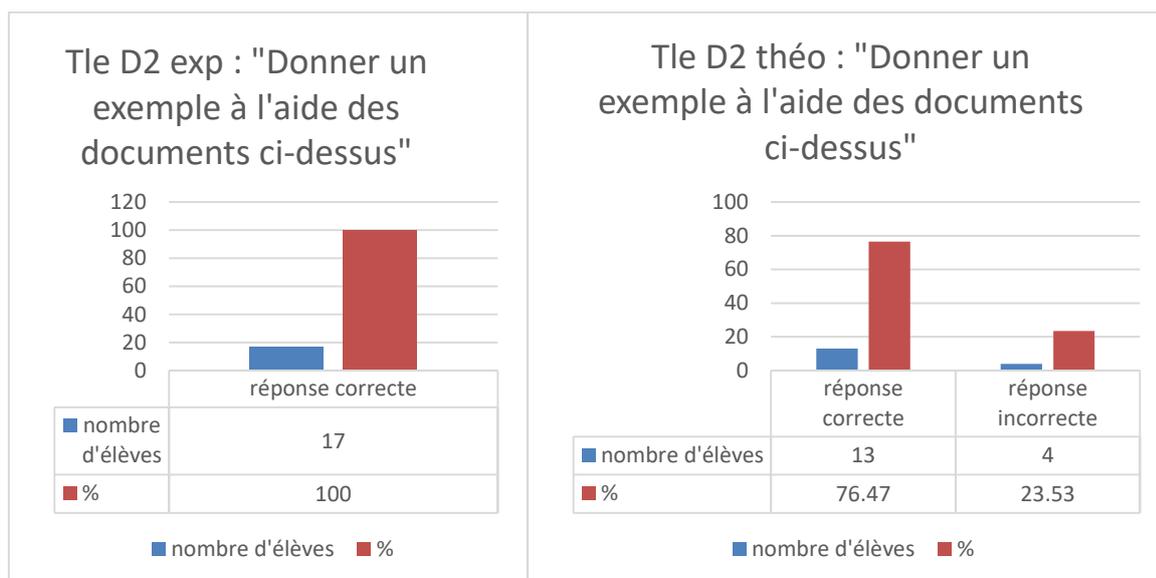
En classe de terminale D2 expérimentale, nous avons 94,12% de réponses correctes et 5,88% de réponses incorrectes. En classe de terminale D2 théorique, nous avons 82,35% de réponses correctes, 11,76% de réponses incorrectes et 5,88% de réponses ambiguës.

### **12-5-1 Bilan des analyses *a posteriori* de la troisième question du post test pour l'ensemble des classes**

Dans toutes les classes, la plupart des élèves répondent correctement à la question (les proportions de réponses correctes vont au-delà de 75% dans chacune des classes). Cependant, cette proportion de réponses ne témoigne pas de la maîtrise du terme « symbolique ». Les réponses ambiguës sont rares (présentes dans deux classes seulement). Les exemples de réponses correctes sont en rapport avec le représentationnel et le symbolique, et en rapport avec les autres niveaux de savoir pour les réponses incorrectes ou ambiguës. Ces résultats semblent indiquer une bonne appréhension des élèves sur le symbolique dans l'ensemble des six classes. Il est maintenant intéressant de regarder l'exemple associé.

## 12-6 Résultats des analyses *a posteriori* de l'exemple associé à la troisième question du post test pour l'ensemble des classes





**Graphique 27 : Résultats de la troisième question du post test pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 27 :

En classe de terminale C expérimentale, 90,48% des élèves proposent des réponses correctes alors que 9,52% proposent des réponses incorrectes. Comme exemple de réponses nous avons : «  $CuSO_4$  est le symbole que représente le sulfate de cuivre ». Cette réponse est bien porteuse des symboles «  $CuSO_4$  ». Pour l'exemple de réponses incorrectes, on a : « a) solution de sulfate de cuivre ». Cette réponse contient des termes issus du macroscopique. Concernant la classe de terminale C théorique, nous avons 90,91% de réponses correctes contre 9,09% de réponses incorrectes.

En classe de terminale D1 expérimentale, nous avons 92,85% de réponses correctes contre 7,15% de réponses incorrectes. En classe de terminale D1 théorique, 85,71% des élèves proposent une réponse correcte alors que 14,29% proposent une réponse incorrecte.

En classe de terminale D2 expérimentale, tous les élèves interrogés répondent correctement à la question. Pour la classe de terminale D2 théorique, nous avons 76,47% de réponses correctes et 23,53% de réponses incorrectes.

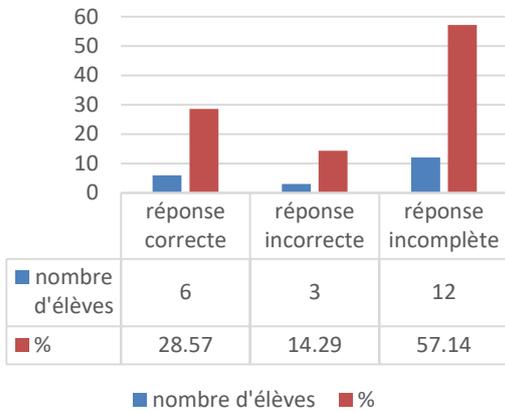
### **12-6-1 Bilan des analyses *a posteriori* de l'exemple associé à la troisième question du post test pour l'ensemble des classes**

Ce bilan semble se démarquer des précédents. En effet, la plupart des élèves ayant donné une réponse correcte à la troisième question l'a également fait pour l'exemple associé, ce qui témoigne d'une bonne appréhension des élèves sur le niveau symbolique dans la majorité des classes. En effet, la proportion de réponses correctes est constante en classe de terminale C expérimentale (90,48%), elle passe de 77,27% à 90,91% en classe de terminale C théorique, de 78,57% à 92,85% en terminale D1 expérimentale, elle est constante en classe de terminale D1 théorique (85,71%), elle passe de 94,12% à 100% en terminale D2 expérimentale et de 82,35% à 76,47% en classe de terminale D2 théorique. Par ailleurs, les exemples de réponses cités au cours des analyses, se structurent autour des concepts de « *représentation* », « *symboles* » ou encore autour des « *équations* ». Les réponses incorrectes sont quelquefois présentes mais n'occupent pas une place prépondérante. Intéressons-nous aux élèves qui répondent correctement aux questions 3 et 3-1 à la fois. Pour la classe de terminale C expérimentale, nous avons 85,71% de réponses correctes pour les deux questions, 72,72% en classe de terminale C théorique, 71,43% en classe de terminale D1 expérimentale, 78,57% en classe de terminale D1 théorique, 94,12% en classe de terminale D2 expérimentale et 64,70% en classe de terminale D2 théorique. Pour le niveau symbolique, on note des résultats meilleurs que pour les questions sur le macroscopique et le microscopique. De plus, les proportions d'élèves qui répondent correctement aux deux questions (3 et 3.1) sont supérieures à 64%.

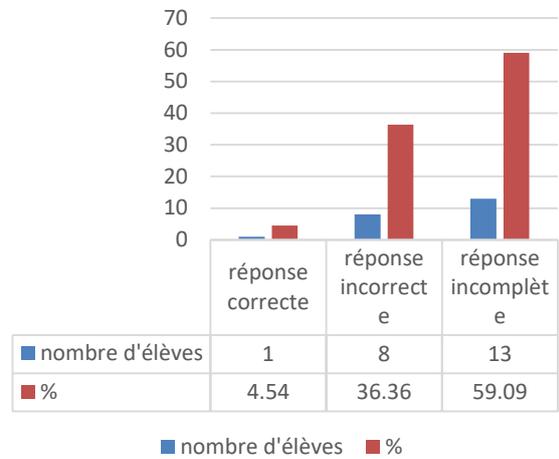
### **12-7 Résultats des analyses *a posteriori* de la quatrième question du post test pour l'ensemble des classes**

Dans la question 4, on s'intéresse aux critères macroscopique, microscopique et symbolique associés à l'éthanol. Les différents graphiques présentent les résultats de chaque classe.

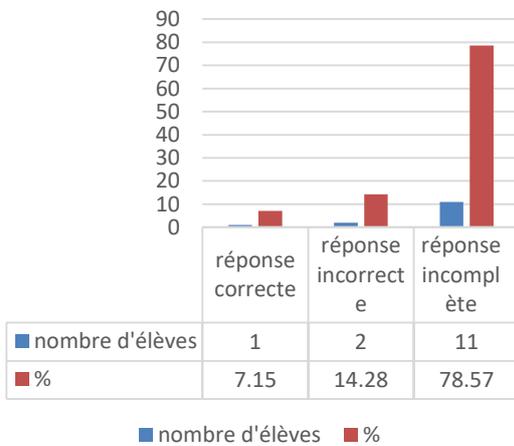
Tle C exp : "Critères macroscopique , microscopique associés à l'éthanol"



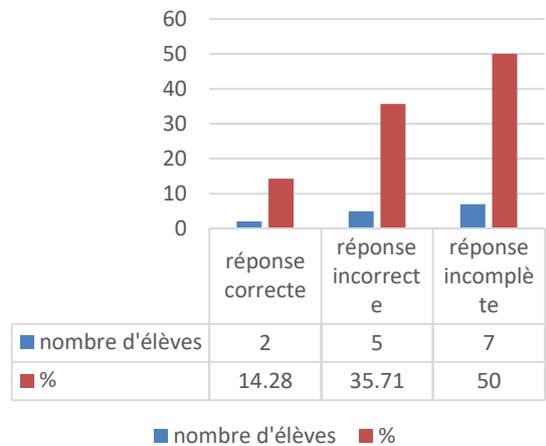
Tle C théo : "Critères macroscopique, microscopique associés à l'éthanol"

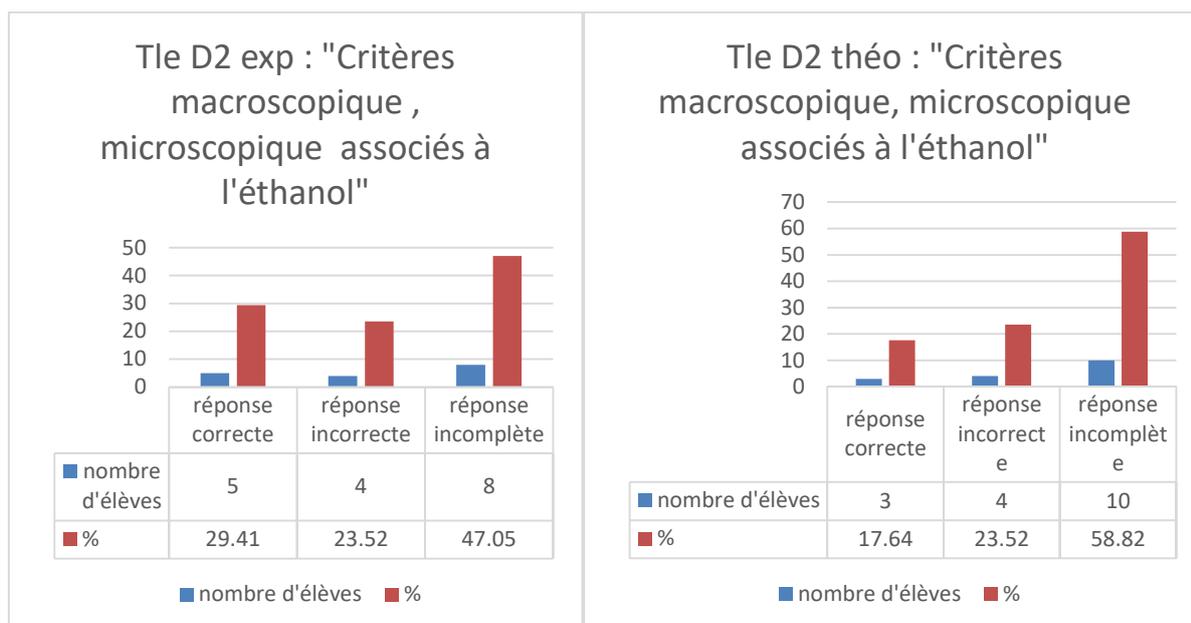


Tle D1 exp : "Critères macroscopique, microscopique associés à l'éthanol"



Tle D1 théo : "Critères macroscopique, microscopique associés à l'éthanol"





**Graphique 28 : Résultats de la quatrième question du post test pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 28,

En classe de terminale C expérimentale, nous avons 28,57% de réponses correctes, 14,29% de réponses incorrectes et 57,14% de réponses incomplètes. Comme exemple de réponses correctes, nous avons : « *molécule* », « *corps purs composés* ». Les réponses incomplètes concernent l'une des deux réponses précédentes. Comme exemple de réponses incorrectes, nous avons « *mélange* ». Les élèves qui parlent de mélange voient peut-être l'éthanol comme un mélange d'atomes. En classe de terminale C théorique, nous avons 4,54% de réponses correctes, 36,36% de réponses incorrectes et 59,09% de réponses incomplètes.

En classe de terminale D1 expérimentale, nous avons 7,15% de réponses correctes, 14,28% de réponses incorrectes et 78,57% de réponses incomplètes. Concernant la classe de terminale D1 théorique, nous avons 14,28% de réponses correctes, 35,71% de réponses incorrectes et 50% de réponses incomplètes.

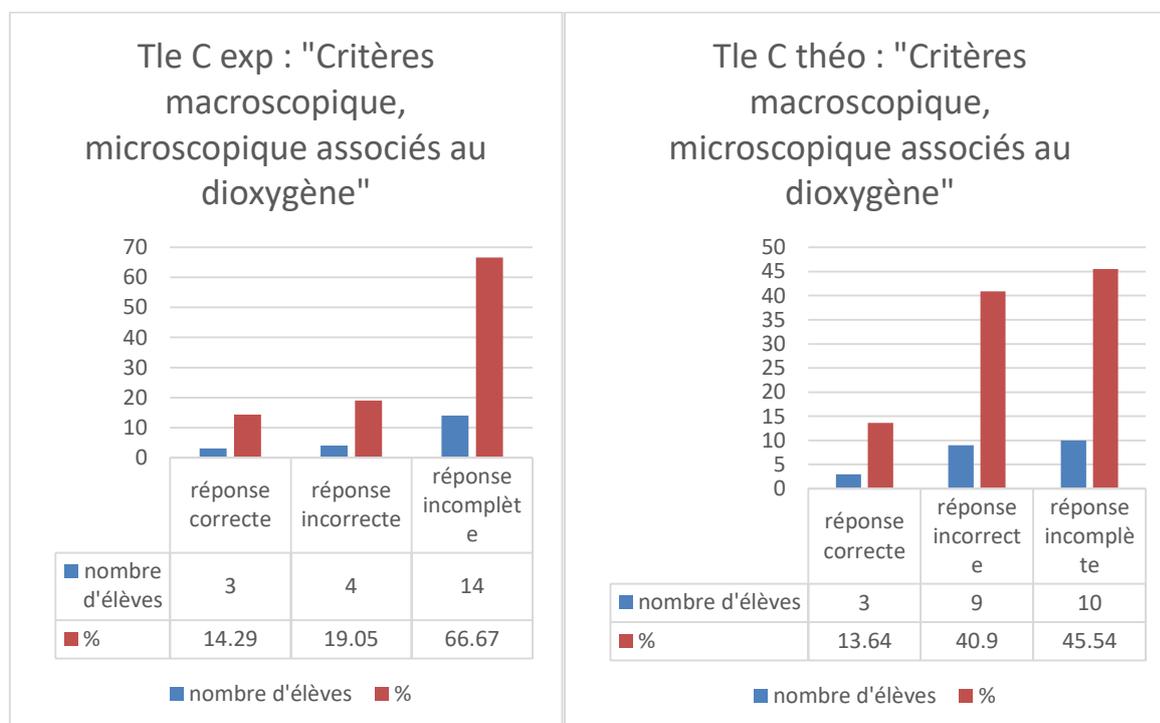
En classe de terminale D2 expérimentale, 29,41% des élèves donnent une réponse correcte, 23,52% donnent une réponse incorrecte et 47,05% donnent une réponse incomplète. Pour la classe de terminale D2 théorique, 17,64% des élèves donnent une réponse correcte, 23,53% donnent une réponse incorrecte et 58,82% donnent une réponse incomplète.

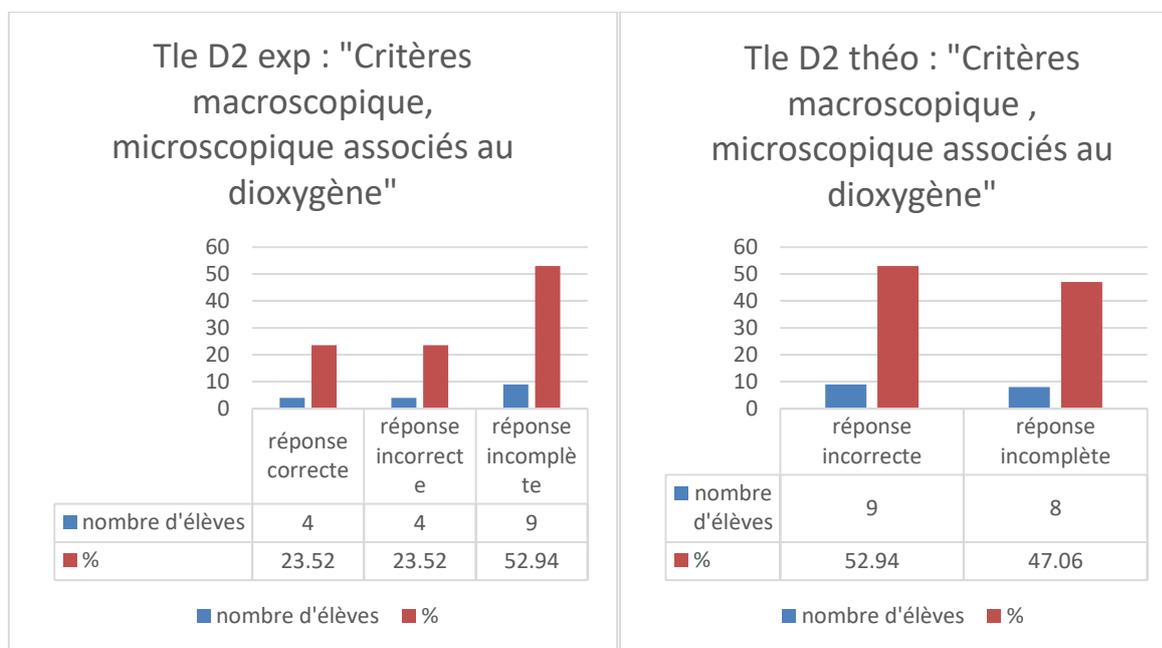
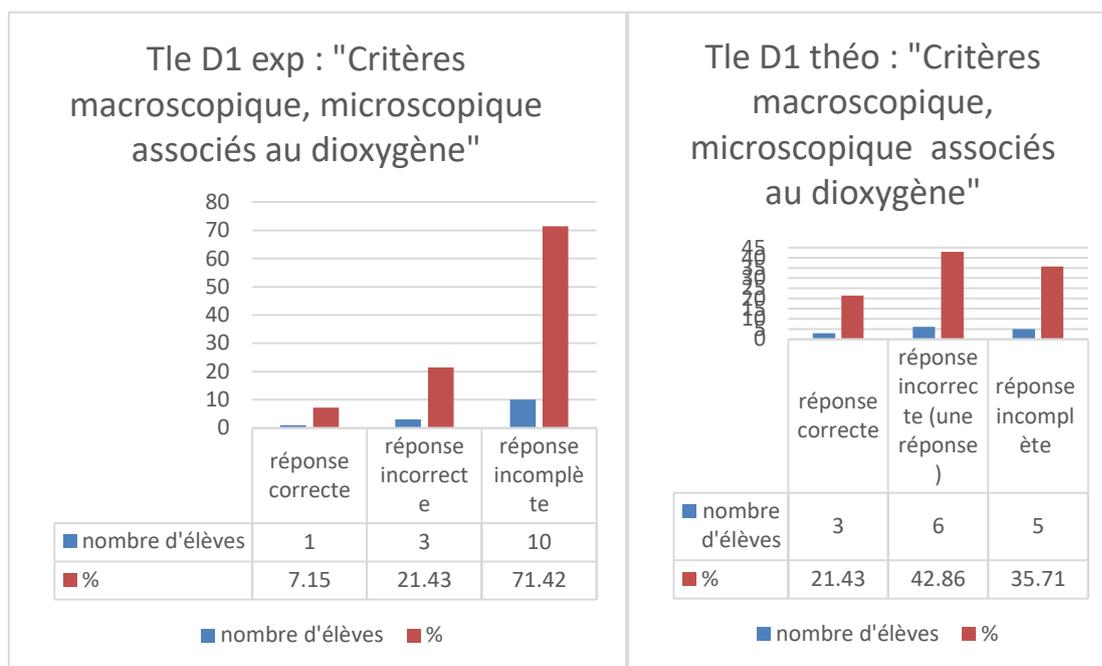
### 12-7-1 Bilan des analyses *a posteriori* de la quatrième question du post test pour l'ensemble des classes

Dans la plupart des cas, très peu d'élèves font le choix de deux réponses. En effet, les réponses incomplètes prédominent dans l'ensemble des classes, ce qui semble indiquer des obstacles de la part des élèves dans leur choix. Les élèves qui font le choix de la réponse « *molécule* » sont au niveau microscopique, et ceux qui font le choix de la réponse « *corps pur composé* » sont au niveau macroscopique. Ceux qui font les choix des deux réponses se trouvent dans les deux niveaux à la fois. Nous avons remarqué que les élèves des classes de terminale D2 expérimentale et D1 théorique choisissent majoritairement un critère macroscopique (corps purs composés), tandis que les élèves des autres classes sont majoritairement dans le microscopique (molécule). Enfin, il est difficile de parler de circulation entre les niveaux de savoir puisque très peu d'élèves emploient les deux niveaux de savoir à la fois.

### 12-8 Résultats des analyses *a posteriori* de la cinquième question du post test pour l'ensemble des classes

Dans cette partie, on présente les résultats des différentes classes puis on les analyse classe après classe.





**Graphique 29 : Résultats de la cinquième question du post test pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 29 :

En classe de terminale C expérimentale, nous avons 14,29% de réponses correctes, 19,05% de réponses incorrectes et 66,67% de réponses incomplètes. Comme exemple de réponses correctes, nous avons « *corps pur simple* » pour le critère macroscopique et « *molécule* » pour le critère microscopique. Pour les réponses incomplètes, les élèves donnent

l'une de ces deux réponses. Ils sont donc soit dans le macroscopique ou dans le microscopique. La réponse choisie majoritairement est « *corps pur simple* ». Ce choix montre que les élèves attribuent beaucoup plus de critères macroscopiques au dioxygène au détriment des critères microscopiques. Concernant les réponses incorrectes on note « *atome* », on a l'impression que les élèves confondent l'atome d'oxygène et la molécule de dioxygène (critère microscopique). Concernant la classe de terminale C théorique, 13,64% des élèves proposent une réponse correcte, 40,90% proposent une réponse incorrecte et 45,54% proposent une réponse incomplète.

En classe de terminale D1 expérimentale, seul 7,15% des élèves proposent une réponse correcte, 21,43% proposent une réponse incorrecte et 71,42% proposent une réponse incomplète. En classe de terminale D1 théorique, nous avons 21,43% de réponses correctes, 42,86% de réponses incorrectes et 35,71% de réponses incomplètes.

En classe de terminale D2 expérimentale, 23,52% des élèves proposent une réponse correcte, 23,52% proposent une réponse incorrecte et 52,94% proposent une réponse incomplète. Concernant la classe de terminale D2 théorique, aucun élève ne fait le choix des deux critères attendus. 52,94% proposent une réponse incorrecte et 47,06% proposent une réponse incomplète.

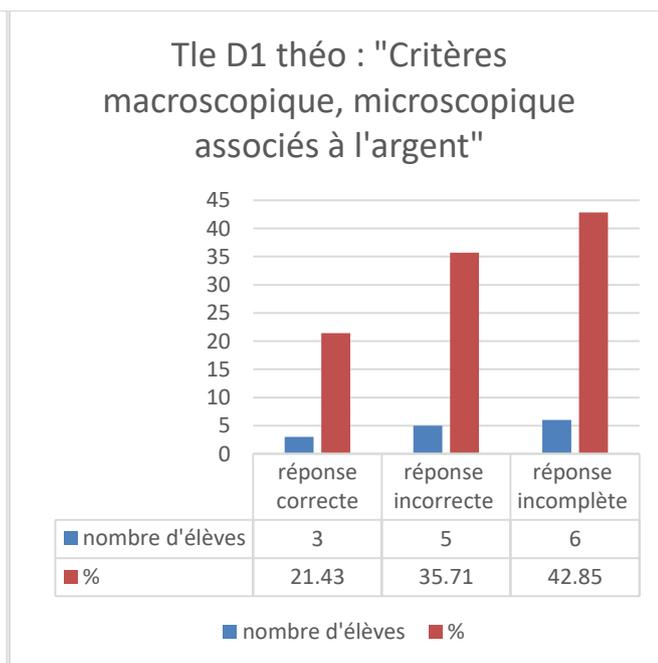
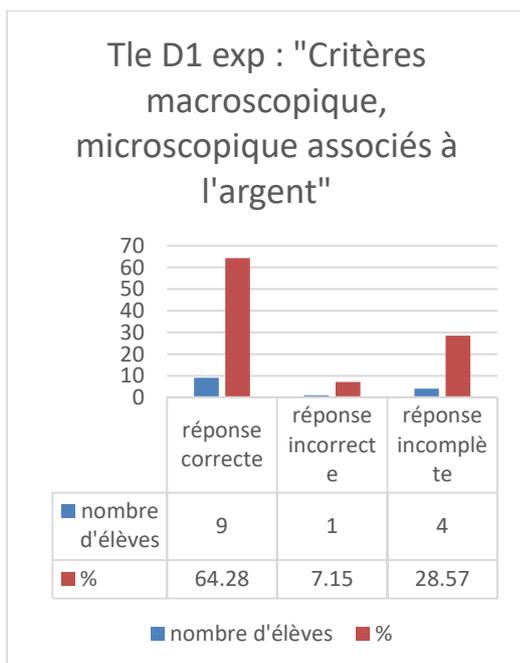
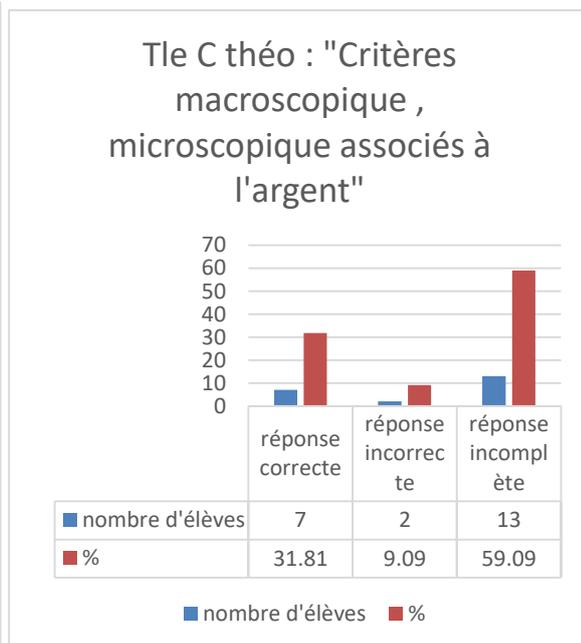
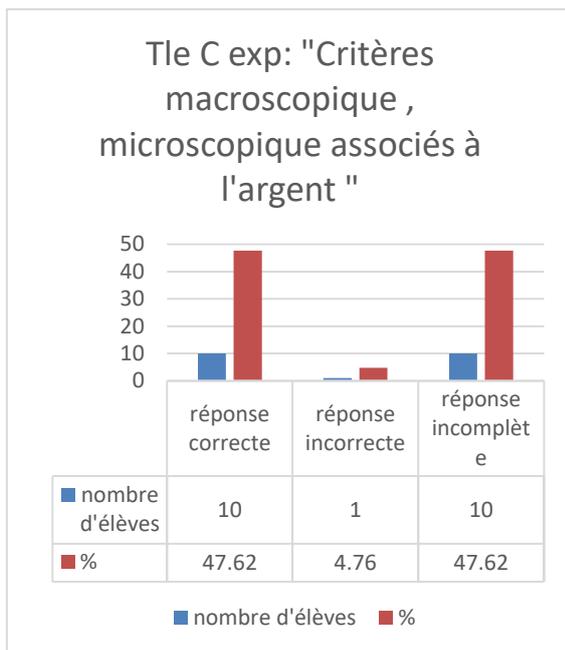
### **12-8-1 Bilan des analyses *a posteriori* de la cinquième question du post test pour l'ensemble des classes**

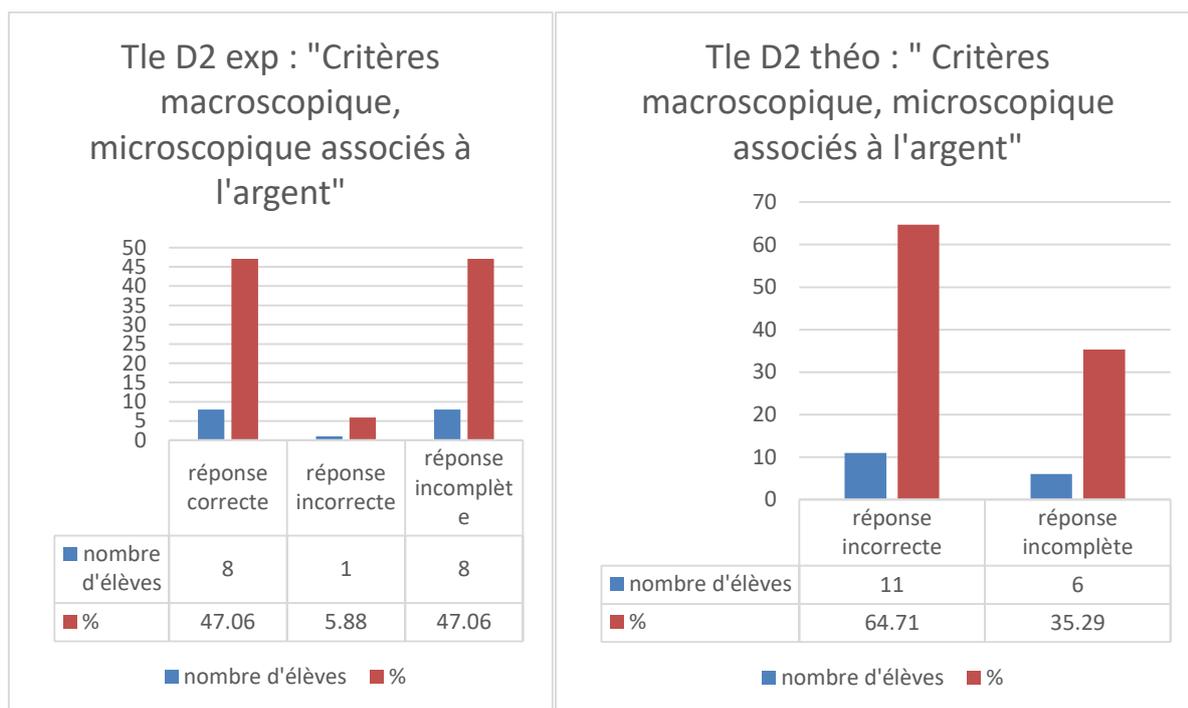
D'après le graphique 29, très peu d'élèves choisissent les deux réponses à la fois. Dans une classe, aucun élève ne propose les deux réponses correctes. Comme souligné au cours des analyses, les élèves qui choisissent la réponse atome semblent confondre « *atome* » et « *molécule* ». Par ailleurs pour le cas des réponses incomplètes, dans toutes les classes, on retrouve les réponses « *corps pur simple* » et « *molécules* ». Les élèves qui choisissent « *corps pur simple* » attribuent au dioxygène un critère macroscopique, tandis que les autres qui parlent de « *molécules* » ont choisi un critère microscopique. De manière générale, les élèves ont du mal à attribuer à la fois des critères macroscopique et microscopique au dioxygène. De manière spécifique, la plupart des réponses incomplètes proposées par les élèves des classes de terminales C (expérimentale et théorique) appartiennent au niveau macroscopique tandis que

les autres classes proposent un critère microscopique. Cette difficulté est-elle commune aux autres corps ?

### 12-9 Résultats des analyses *a posteriori* de la sixième question du post test pour l'ensemble des classes

Le graphique 30 présente les résultats de chacune des classes. Les résultats sont présentés puis analysés par la suite classe après classe.





**Graphique 30 : Résultats de la sixième question du post test pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 30 :

En classe de terminale C expérimentale, nous avons 47,62% de réponses correctes, 4,76% de réponses incorrectes et 47,62% de réponses incomplètes. Les réponses correctes sont : « *corps purs simple* » et « *atome* ». Un élève choisit à la fois « *atome* » et « *molécule* », ce qui semble indiquer des difficultés au niveau microscopique. Dans la plupart des cas, la réponse « *atome* » est fortement représentée comme réponse incomplète. Malgré les difficultés liées au niveau microscopique, une partie très proche de la moitié des élèves réussissent à attribuer deux critères à l'argent. Concernant la classe de terminale C théorique, 31,81% des élèves proposent une réponse correcte, 9,09% proposent des réponses incorrectes et 59,09% proposent une réponse incomplète.

En classe de terminale D1 expérimentale, nous avons 64,28% de réponses correctes, 7,15% de réponses incorrectes et 28,57% de réponses incomplètes. Pour la classe de terminale D1 théorique, nous avons 21,43% de réponses correctes, 35,71% de réponses incorrectes et 42,85% de réponses incomplètes.

En classe de terminale D2 expérimentale, 47,06% des élèves proposent des réponses correctes, 5,88% proposent des réponses incorrectes et 47,06% proposent une réponse

incomplète. Pour le cas de la terminale D2 théorique, nous n'avons pas de réponses correctes, mais 64,71% de réponses incorrectes et 35,29% de réponses incomplètes.

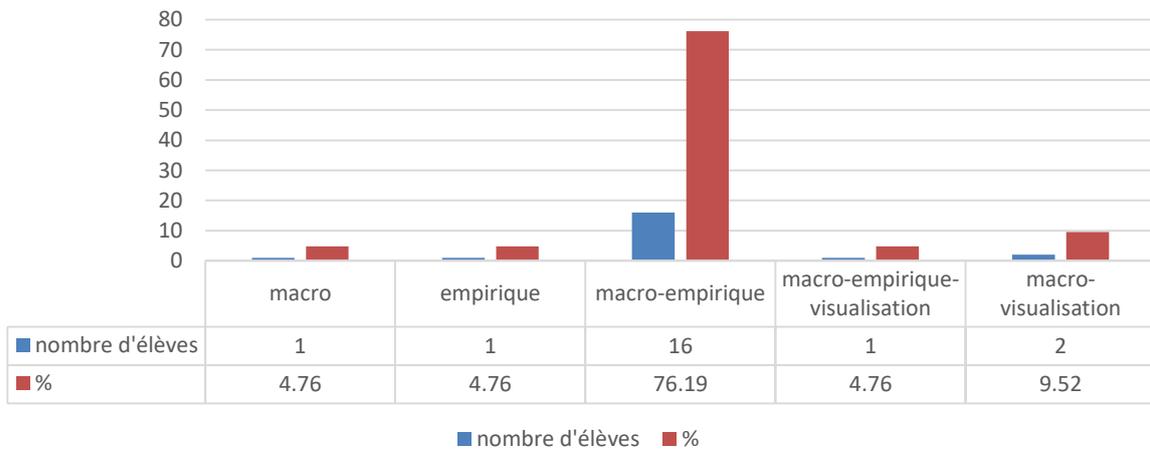
### **12-9-1 Bilan des analyses *a posteriori* de la sixième question du post test pour l'ensemble des classes**

Au regard des graphiques étudiés, dans une partie des classes, on note une faible proportion des élèves qui choisissent les deux réponses à la fois. Les élèves de la classe de terminale D1 expérimentale font davantage le choix des deux critères par rapport aux élèves des autres classes. En comparant les résultats des réponses incorrectes, nous nous rendons compte que les élèves de la classe de terminale D2 théorique proposent en grande partie des réponses incorrectes. La plupart des réponses incomplètes concernent le critère microscopique « *atome* » seulement. Par ailleurs pour les réponses incorrectes, des confusions liées à l'usage de deux lettres semblent justifier les erreurs des élèves qui choisissent le critère « *molécule* ». Le critère macroscopique « *corps pur simple* » est peu présent dans les réponses des élèves. Les élèves des classes expérimentales choisissent davantage les deux critères par rapport aux autres classes. Ces résultats montrent également que les élèves ont du mal à circuler entre les niveaux de savoir.

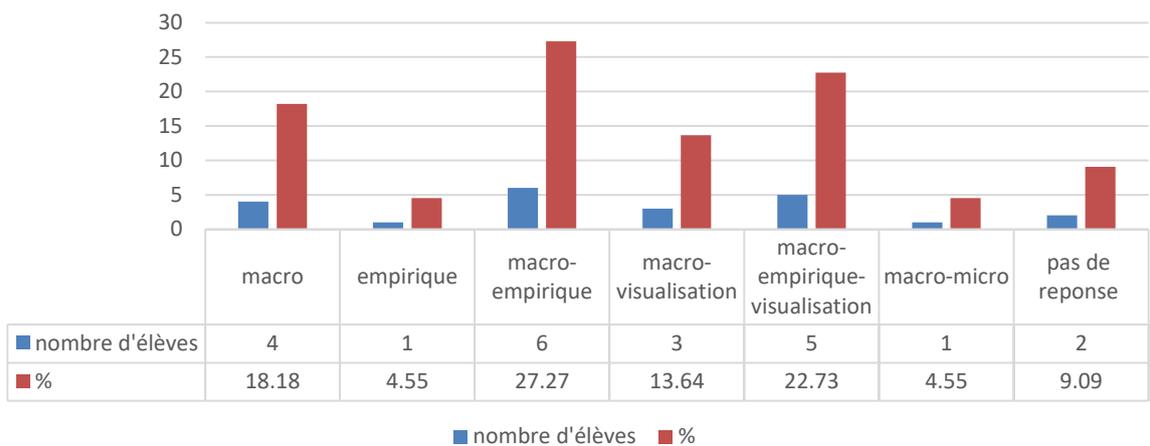
### **12-10 Résultats des analyses *a posteriori* de la septième question du post test pour l'ensemble des classes**

Les résultats de la septième question (« *Nous désirons fabriquer du savon ; après avoir décrit au maximum les réactifs à utiliser, leurs rôles, proposer un protocole de fabrication du savon* ») sont présentés puis analysés pour chaque classe.

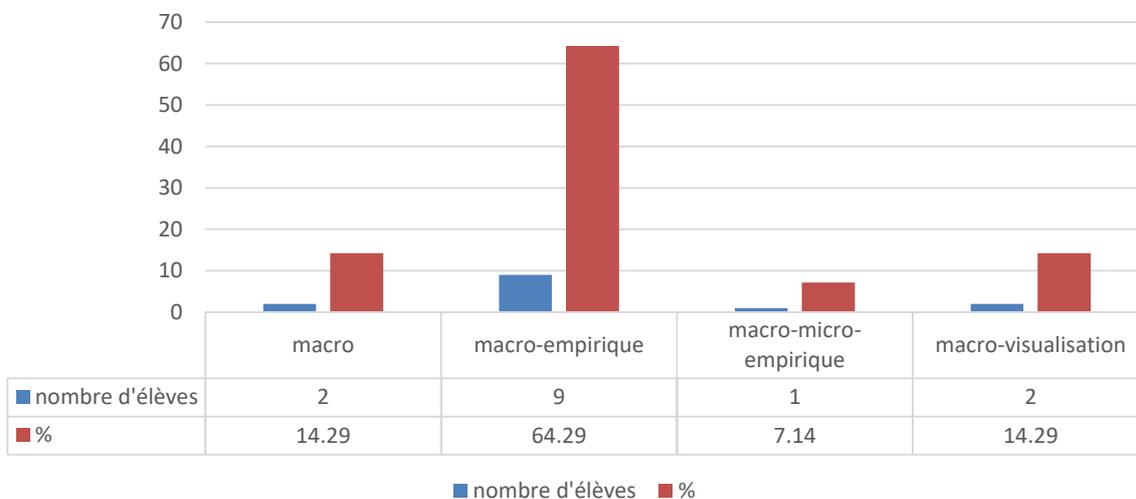
Tle C exp : "Critères empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation associés à la saponification"



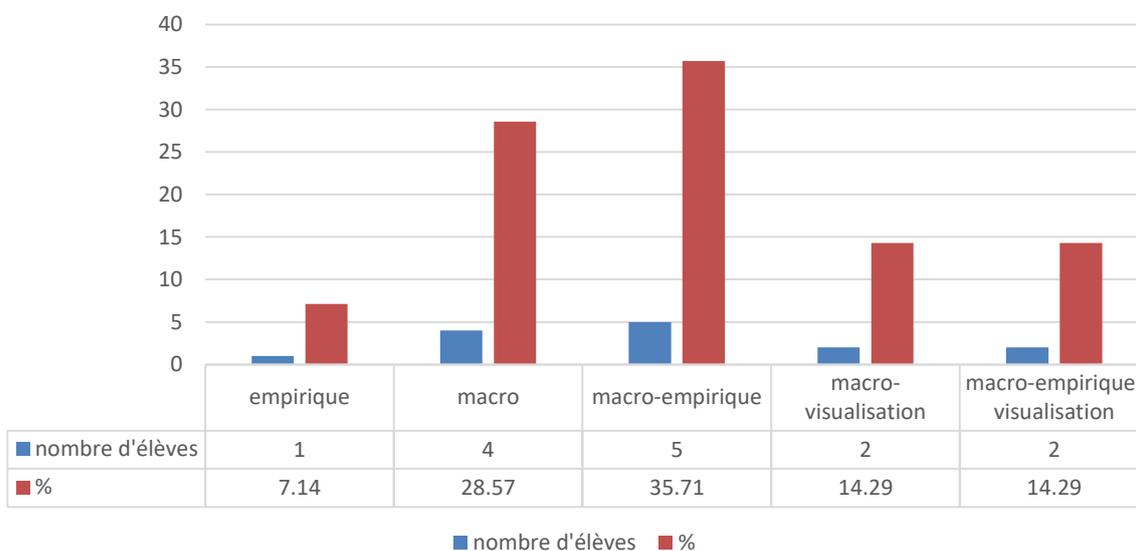
Tle C théo : "Critères empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation associés à la saponification"

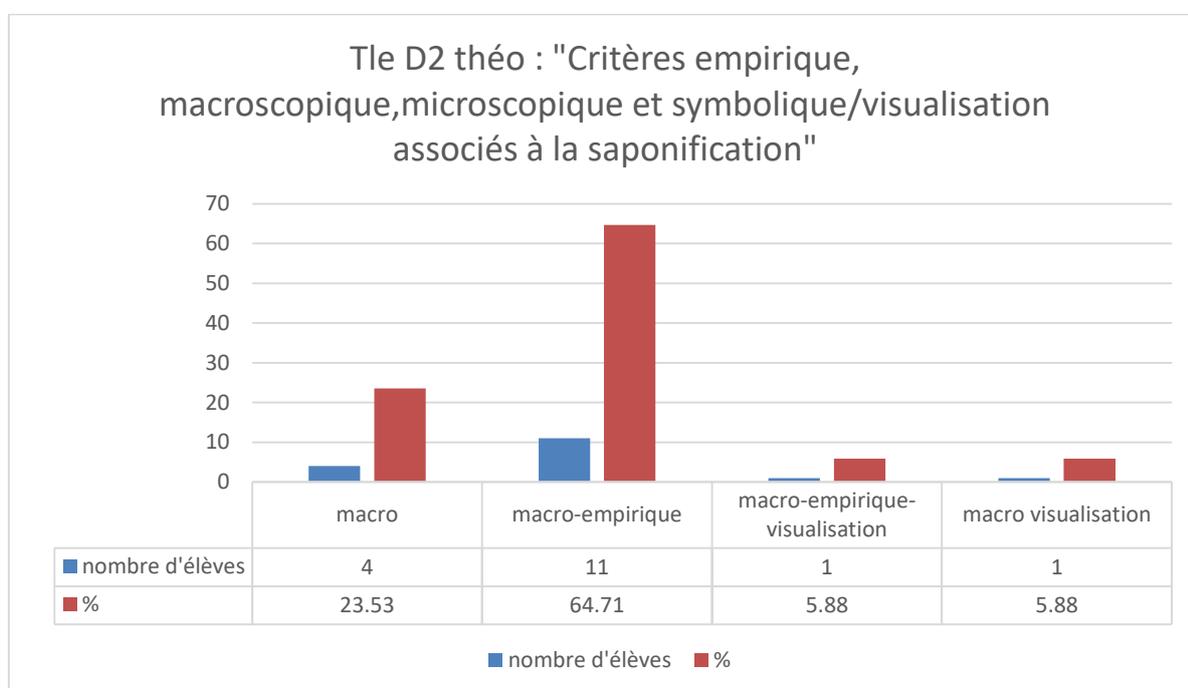
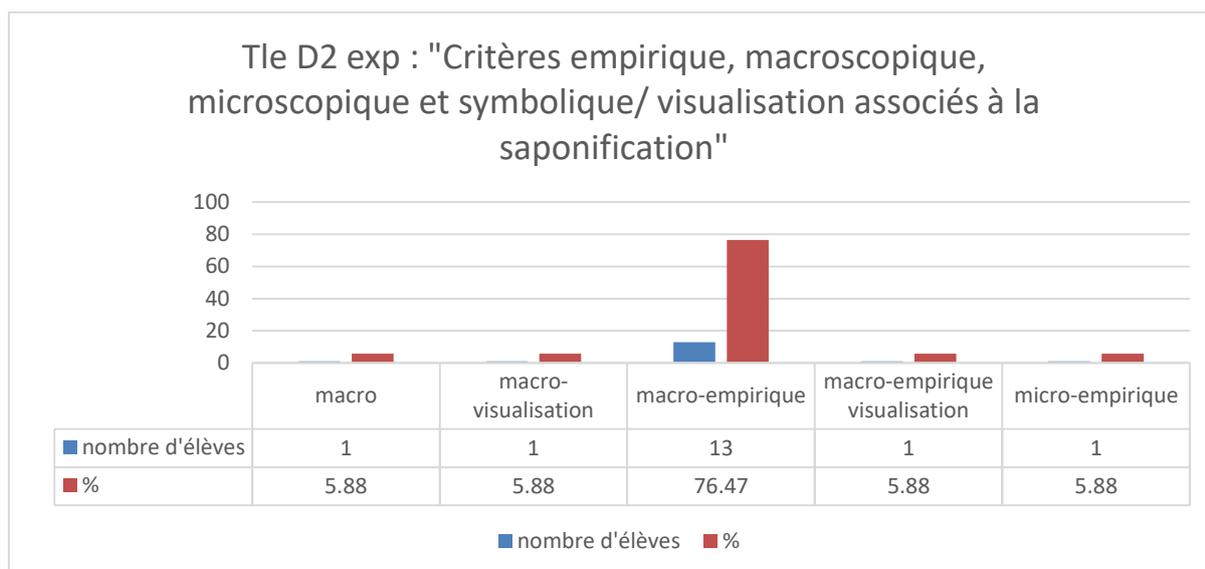


Tle D1 exp : "Critères empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation associés à la saponification"



Tle D1 théo : "Critères empirique, macroscopique, microscopique et symbolique /visualisation associés à la saponification"





**Graphique 31 : Résultats de la septième question du post test pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 31, nous avons :

En classe de terminale C expérimentale, 4,76% des élèves emploient uniquement le niveau macroscopique, 4,76% des élèves le niveau empirique uniquement, 76,19% des élèves emploient le niveau macroscopique et le niveau empirique à la fois, 4,76% des élèves emploient à la fois les niveaux macroscopique, empirique et visualisation. 9,52% des élèves emploient le niveau macroscopique et le niveau visualisation. Intéressons-nous aux exemples de réponses.

Un premier élève propose la réponse ci-après pour le niveau macroscopique uniquement : « *reactifs à utiliser : huile de palme, soude, silicate* ». Dans cette réponse, nous avons bien le terme « *soude* » qui appartient au niveau macroscopique. Un second élève propose la réponse ci-après pour le niveau empirique uniquement : « *mélanger les reactifs et tourner* ». Dans cette réponse, nous avons par exemple les termes « *mélanger* », « *tourner* » pour le niveau empirique. Un troisième élève propose la réponse ci-après : « *Dans un bécher versons une matière grasse (triester) puis versons de la soude puis mélangeons le contenu puis ajoutons silicate et remuer le mélange et laissons refroidir* ». Dans cet exemple de réponse, nous avons le terme « *bécher* » pour le niveau empirique et « *matière grasse* » pour le niveau macroscopique. Un quatrième élève propose la réponse ci-après : « *réactif ; le triester (glycérol), soude (NaOH) - prélever 20mL d'huile de palme (glycerol) introduire dans un becher de 100mL - prélever également 05mL de solution de soude précédemment préparé, introduire dans le bécher précédent de 100mL - ajouter quelques gouttes de silicates- remuer le mélange jusqu'a la formation d'un précipité-introduire la précipité dans un moule puis sécher* ». Cet exemple de réponse contient les termes « *remuer* » pour le niveau empirique, « *glycérol* » pour le niveau macroscopique et « *NaOH* » pour le niveau symbolique/visualisation. Un cinquième élève propose la réponse ci-après pour le niveau macroscopique et le niveau symbolique/visualisation : « *par la fabrication du savon il faut un triester (corps gras) exemple l'oleine. Il réagit avec la base forte pour donner du carboxylate et une base forte peut être le (NaOH) et le (KOH).* ». Dans cette dernière réponse, nous avons le terme « *savon* » pour le niveau macroscopique et « *KOH* » pour le niveau symbolique /visualisation. Par ailleurs, en classe de terminale C théorique, nous avons 18,18% des élèves qui emploient le niveau macroscopique exclusivement, 4,55% des élèves le niveau empirique uniquement, 27,27% le niveau macroscopique et le niveau empirique à la fois. 13,64% utilisent le niveau macroscopique et le niveau symbolique/visualisation, 22,73% des élèves emploient à la fois les niveaux macroscopique, empirique et symbolique/visualisation, 4,55% des élèves emploient le niveau macroscopique et le niveau microscopique à la fois. 9,09% des élèves ne proposent pas de réponse.

En classe de terminale D1 expérimentale, nous avons 14,29% des élèves qui emploient le niveau macroscopique uniquement, 64,29% des élèves emploient le niveau empirique et le niveau macroscopique, 7,14% des élèves emploient les niveaux macroscopique, microscopique et empirique à la fois, 14,29% des élèves emploient le niveau macroscopique et le niveau

symbolique/ visualisation à la fois. Concernant la classe de terminale D1 théorique, nous avons 7,14% des élèves qui emploient exclusivement le niveau empirique, 28,57% le niveau macroscopique uniquement, 35,71% les niveaux macroscopique et empirique à la fois, 14,29% les niveaux macroscopique et symbolique / visualisation à la fois. Enfin, nous avons 14,29% des élèves qui emploient les niveaux macroscopique, empirique et symbolique/visualisation à la fois.

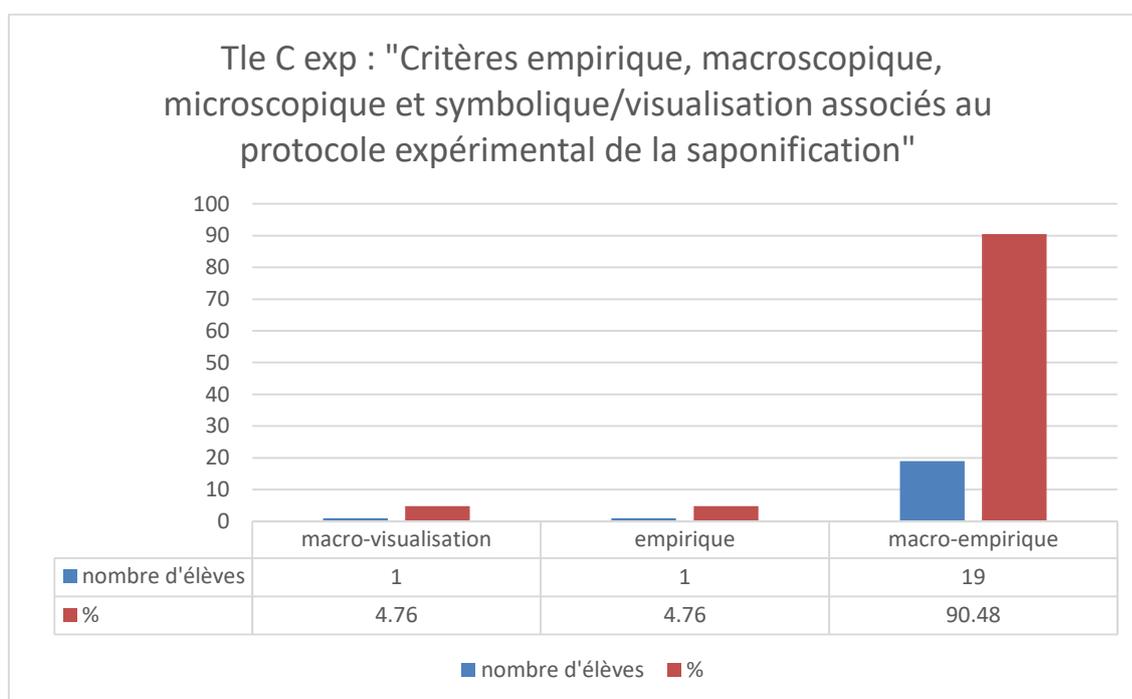
En classe de terminale D2 expérimentale, nous avons 5,88% des élèves qui emploient uniquement le niveau macroscopique, 5,88% les niveaux macroscopique et visualisation, 76,47% le niveau macroscopique et le niveau empirique à la fois. 5,88% des élèves emploient les niveaux macroscopique, empirique et symbolique/visualisation à la fois, 5,88% emploient à la fois le niveau microscopique et le niveau empirique. Concernant la classe de terminale D2 théorique, nous avons 23,53% des élèves qui emploient le niveau macroscopique exclusivement, 64,71% le niveau macroscopique et le niveau empirique, 5,88% le niveau macroscopique, empirique et symbolique/visualisation, 5,88% le niveau macroscopique et le niveau symbolique/visualisation.

### **12-10-1 Bilan des analyses *a posteriori* de la septième question du post test pour l'ensemble des classes**

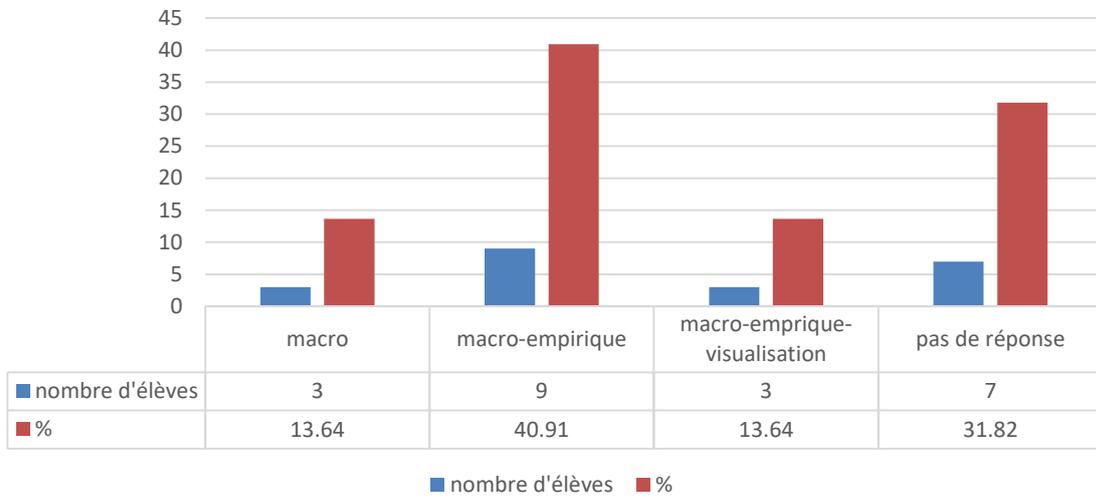
Dans la plupart des classes étudiées, les élèves emploient majoritairement les niveaux empirique et macroscopique. Cela signifie qu'ils parlent beaucoup plus de ce qu'ils observent : le caractère descriptif est valorisé. Le matériel utilisé au cours de l'expérimentation appartient au niveau empirique, tandis que les noms de corps cités se retrouvent au niveau macroscopique. Par ailleurs, très peu d'élèves emploient les termes molécules ou encore ions... Ce qui semble indiquer qu'ils se déplacent rarement vers le niveau microscopique, ils n'expliquent donc pas ce qu'ils ne peuvent pas observer. Le caractère représentatif peu employé ou encore non employé montre que très peu d'élèves représentent leurs observations, n'arrivent pas à modéliser la réaction. Les élèves qui réussissent à distinguer les différents niveaux de savoir arrivent à les utiliser et à circuler entre eux peut-être ne sont-ils pas conscients de cette circulation puisque cela se fait naturellement pour eux ? De plus, les enseignants n'insistent pas du tout sur ces notions (niveaux de savoir). Mais en les distinguant les élèves arrivent davantage à comprendre le discours de l'enseignant, qui va et vient entre ces niveaux sans le préciser.

## 12-11 Résultats des analyses *a posteriori* de la huitième question du post test pour l'ensemble des classes

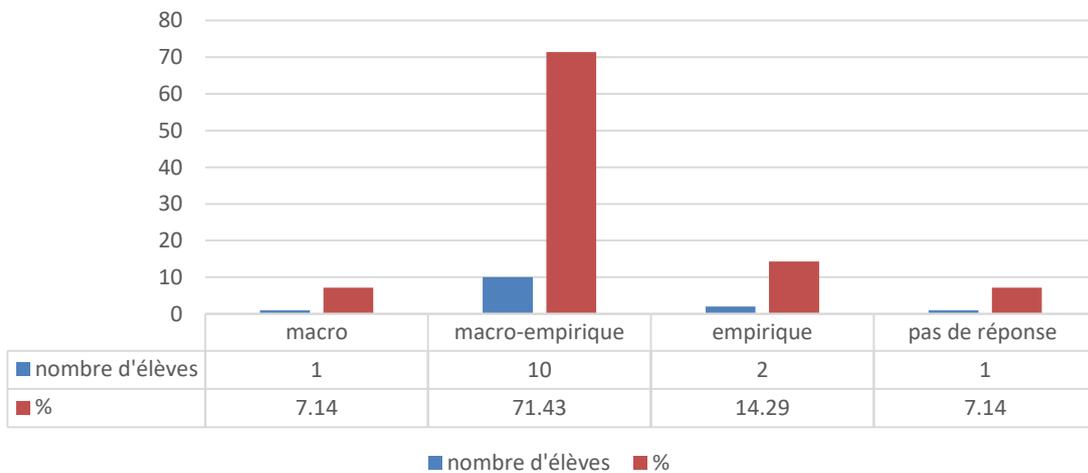
La huitième question est une question à réponses ouvertes : « *Décrire le protocole expérimental, son déroulement, des réactifs jusqu'à l'obtention des produits.* ». Dans ce type de question, nous voulons regarder le niveau de savoir utilisé par les élèves au cours de la description du protocole. Si l'élève utilise les termes comme « *bécher* », par exemple on range la réponse dans le niveau empirique. Si l'élève utilise les termes comme « *hydroxyde de sodium* », on range la réponse dans macroscopique. Si l'élève utilise les symboles, on range la réponse dans symbolique/visualisation. Si l'élève fait un schéma, on range la réponse dans modélisation. Si l'élève parle « *d'atome* » de « *molécule* », ou « *d'ion* » par exemple on range la réponse dans niveau microscopique. Les résultats sont présentés ci-dessous.



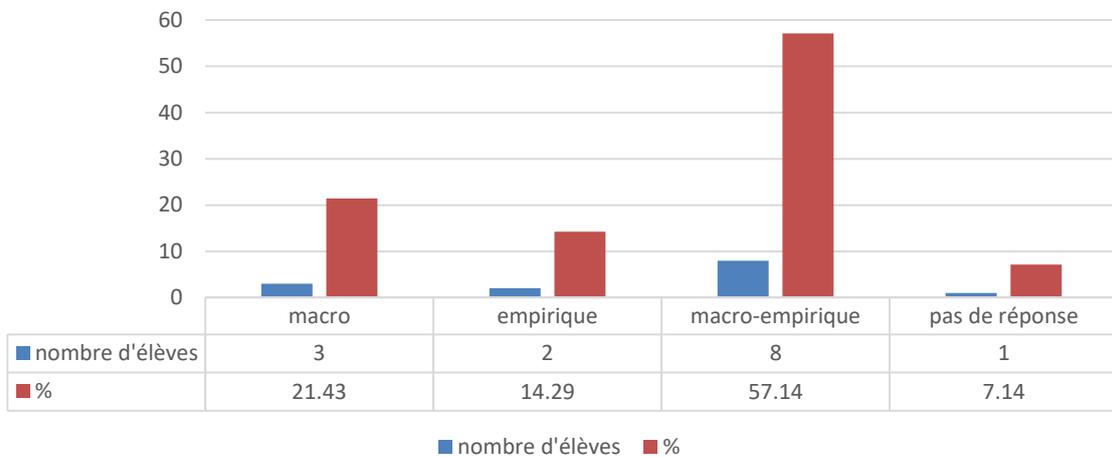
Tle C théo : "Critères empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation associés au protocole expérimental de la saponification"



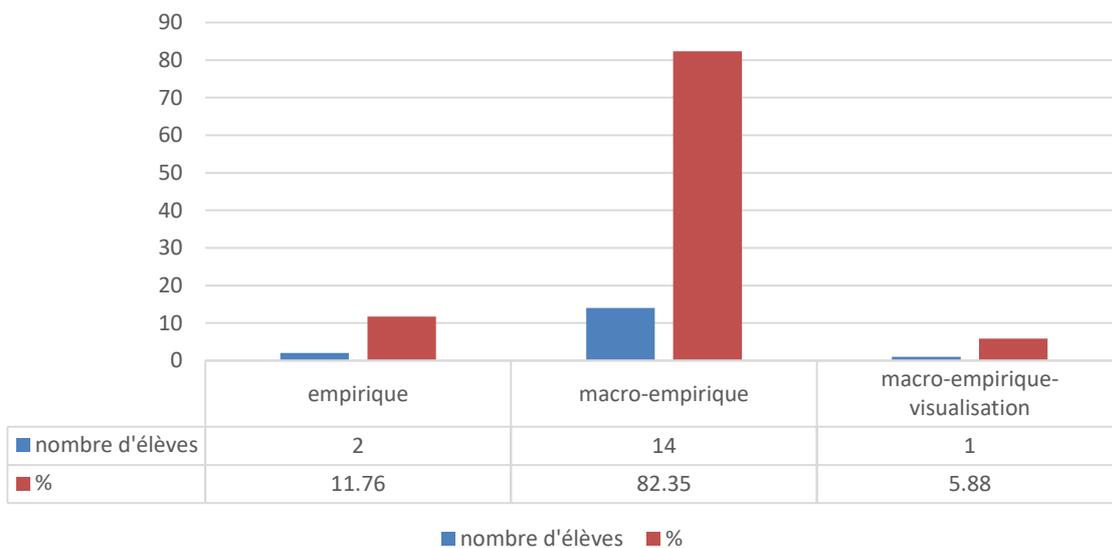
Tle D1 exp : "Critères empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation associés au protocole expérimental de la saponification"

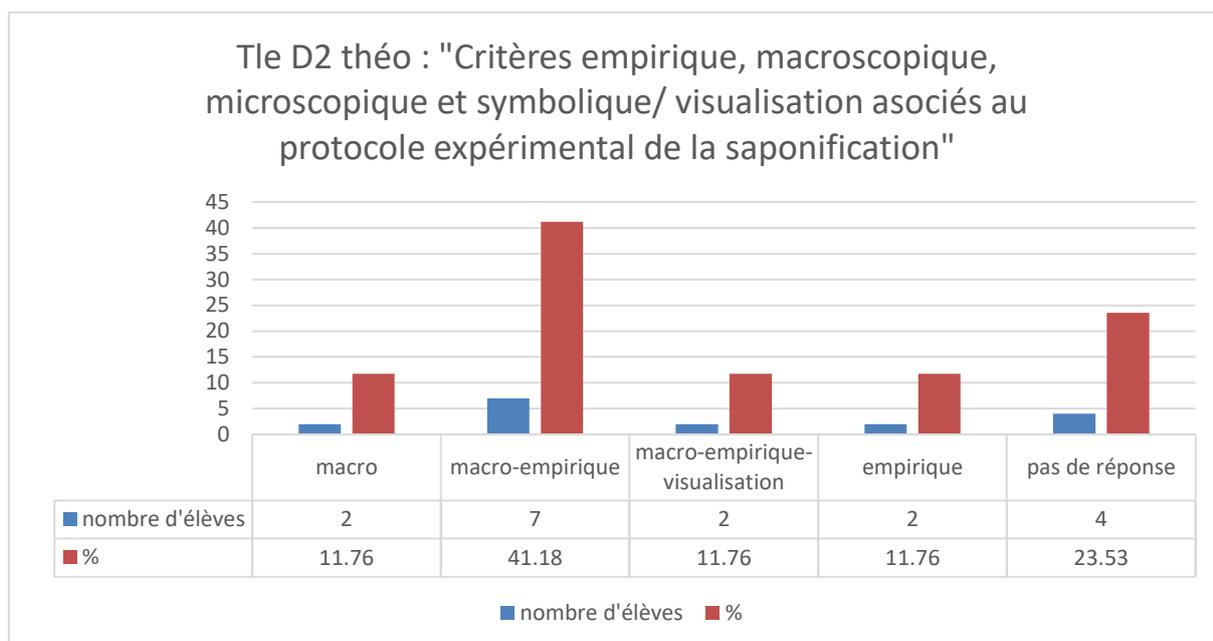


Tle D1 théo : "Critères empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation associés au protocole expérimental de la saponification"



Tle D2 exp : "Critères empirique, macroscopique, microscopique et symbolique associés au protocole expérimental de la saponification"





**Graphique 32 : Résultats de la huitième question du post test pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 32, nous avons :

En classe de terminale C expérimentale, 4,76% des élèves emploient les niveaux macroscopiques et symbolique/visualisation à la fois, 4,76% des élèves emploient exclusivement le niveau empirique et 90,48% emploient les niveaux macroscopique et empirique à la fois. Intéressons-nous aux exemples de réponses. Un premier élève propose la réponse ci-après : « *par la fabrication du savon il faut un triester (corps gras) exemple l'oleine. Il reagit avec la base forte pour donner du carboxylate et une base forte peut etre le (NaOH) et le (KOH).* ». Dans cet exemple de réponse, nous avons le terme « *carboxylate* » pour le niveau macroscopique et « *NaOH* » pour le niveau symbolique/visualisation. Un second élève propose la réponse ci-après : « *nous pouvons symplifier cette expérience en donnant les principales étapes : chauffage à reflux, puis rellagage enfin filtration* ». Dans cet exemple de réponse, nous avons les termes « *chauffage à reflux* », « *filtration* » qui appartiennent au niveau empirique. Un troisième élève propose la réponse ci-après : « *dans un b cher contenant de l'huile de palme, verser une solution de soude, remuer au fur et à mesure la solution jusqu' a l'obtention d'une solution pesante* ». Dans cet exemple de réponse, nous avons le terme « *b cher* » pour le niveau empirique et « *solution* » pour le niveau macroscopique. Concernant la classe de terminale C théorique, nous avons 13,64% des élèves qui emploient le niveau macroscopique exclusivement, 40,91% emploient les niveaux macroscopique et empirique à la fois, 13,64%

des élèves emploient à la fois les niveaux macroscopique, empirique et symbolique /visualisation. 31, 82% des élèves ne proposent pas de réponses.

En classe de terminale D1 expérimentale, nous avons 7,14% des élèves qui emploient uniquement le niveau macroscopique, 71,43% emploient le niveau macroscopique et le niveau empirique à la fois, 14,29% emploient exclusivement le niveau empirique, 7,14% des élèves ne proposent pas de réponses. En classe de terminale D1 théorique, nous avons 21,43% des élèves qui emploient le niveau macroscopique uniquement, 14,29% emploient le niveau empirique uniquement, 57,14% emploient les niveaux macroscopique et empirique à la fois et 7,14% des élèves ne proposent pas de réponse.

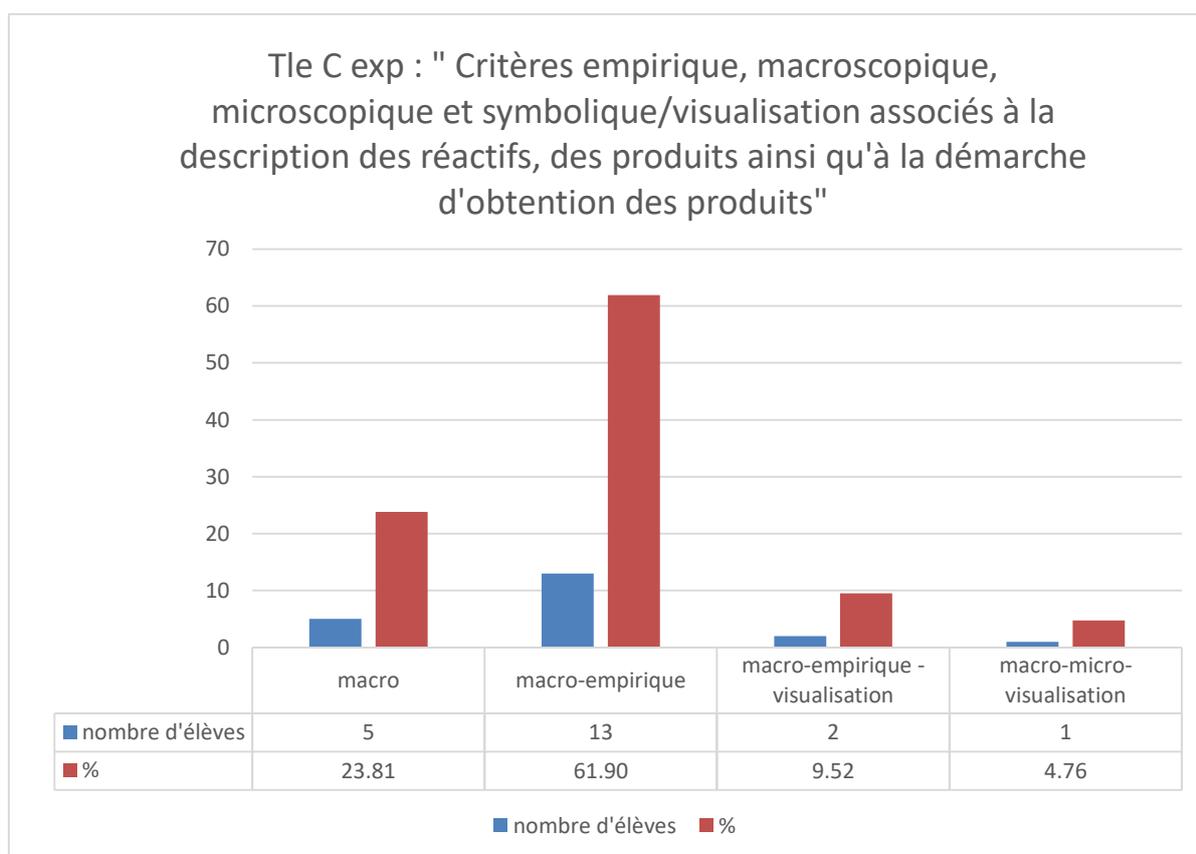
En classe de terminale D2 expérimentale, nous avons 11,76% des élèves qui emploient le niveau empirique uniquement, 82,35% emploient le niveau macroscopique et le niveau empirique à la fois, 5,88% emploient les niveaux macroscopique, empirique et symbolique/visualisation à la fois. En classe de terminale D2 théorique, nous avons 11,76% des élèves qui emploient le niveau macroscopique uniquement, 41,18% emploient le niveau macroscopique et le niveau empirique à la fois, 11,76% emploient le niveau empirique uniquement, 11,76% des élèves emploient les niveaux macroscopique, empirique et symbolique/visualisation à la fois, 23,53% ne proposent pas de réponses.

### **12-11-1 Bilan des analyses *a posteriori* de la huitième question du post test pour l'ensemble des classes**

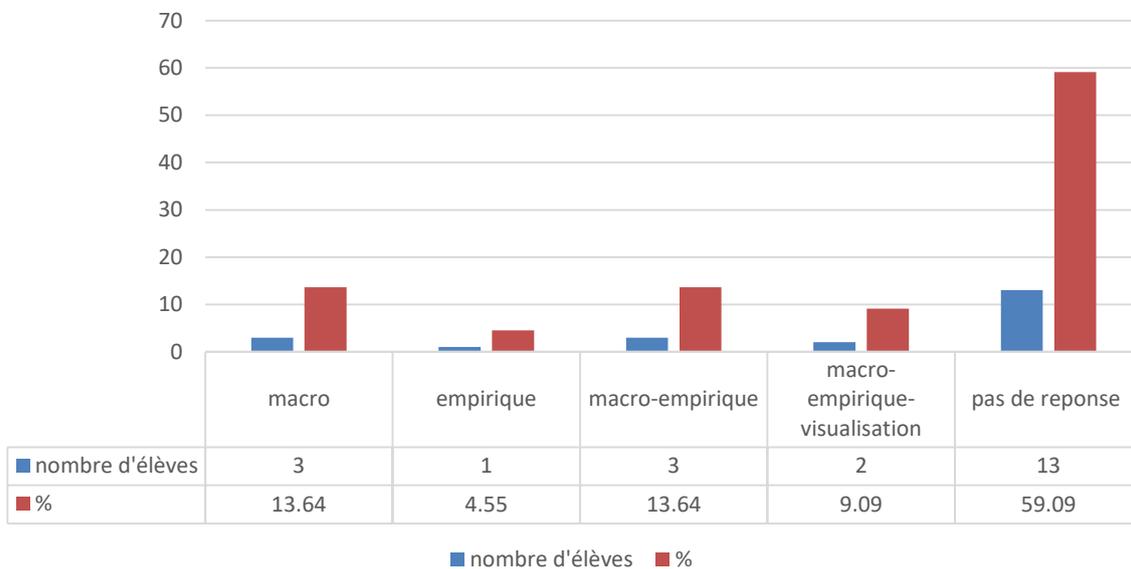
Dans toutes les classes, les niveaux empirique et macroscopique dominent, ce qui montre réellement que les élèves décrivent d'une certaine manière le protocole expérimental. Ils parlent du matériel à utiliser par exemple pour le niveau empirique, du nom des substances chimiques à utiliser pour le niveau macroscopique. Par ailleurs, le niveau microscopique n'est pas présent parmi les réponses des élèves ce qui se justifie peut-être par le caractère descriptif beaucoup plus mis en évidence dans la question. Le taux d'abstention est élevé dans certaine classe (terminale C théorique et D2 théorique). Cela peut indiquer que les élèves ne maîtrisent pas le protocole expérimental de la saponification puisqu'ils ne participent pas à l'expérimentation. Enfin, l'emploi du niveau symbolique /visualisation est soit peu employé ou encore non employé dans la plupart des classes.

## 12-12 Résultats des analyses *a posteriori* de la neuvième question du post test pour l'ensemble des classes

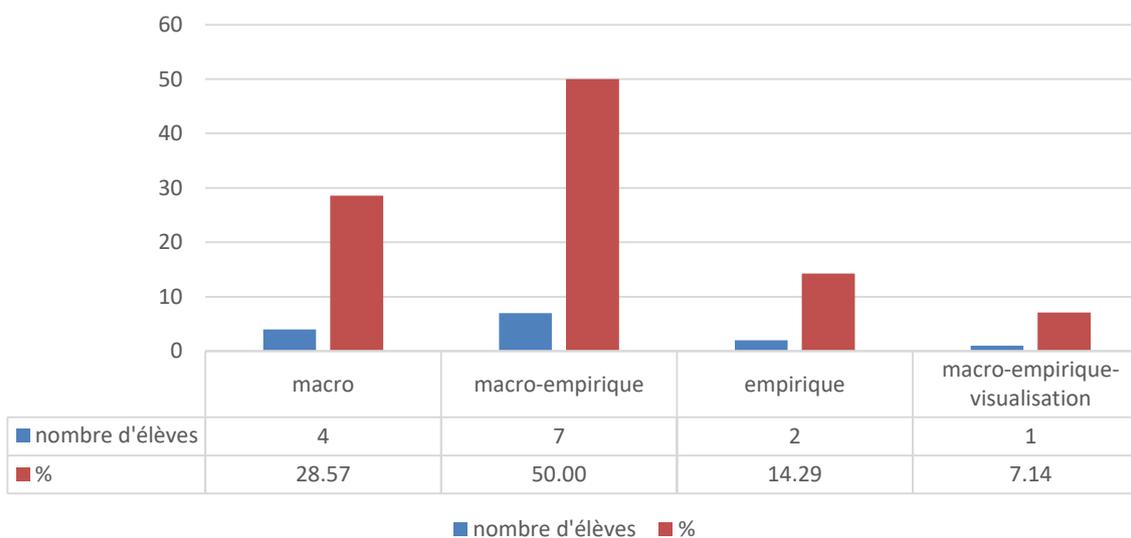
La neuvième question du post test est : « *Décrivez au maximum, les réactifs utilisés, le produit obtenu de même que la démarche d'obtention de ce produit* ». Pour cette question, de manière similaire aux deux questions précédentes, on s'intéresse aux niveaux de savoir utilisés dans les propos des élèves. Les réponses ayant trait aux couleurs, formules chimiques, noms scientifiques des corps utilisés sont attendus.



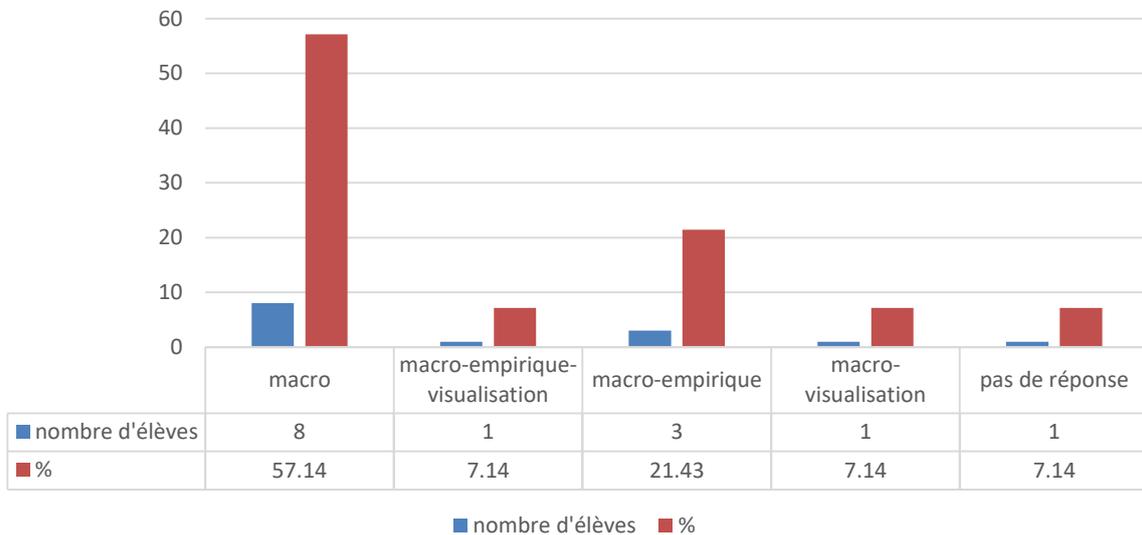
Tle C théo : "Critères empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation associés à la description des réactifs, des produits ainsi qu'à la démarche d'obtention des produits"



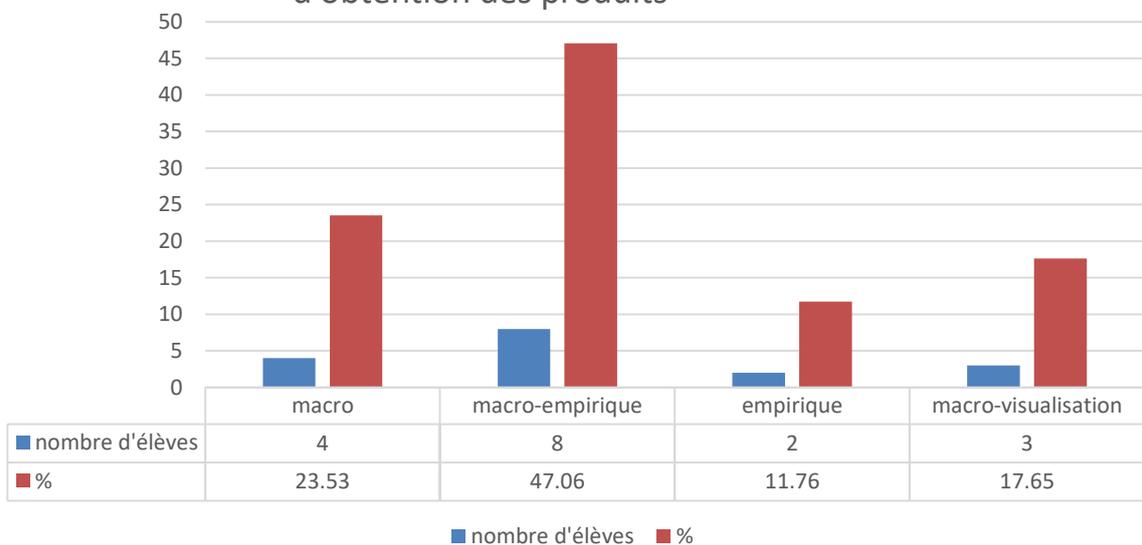
Tle D1 exp : "Critères empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation associés à la description des réactifs, des produits ainsi qu'à la démarche d'obtention des produits"

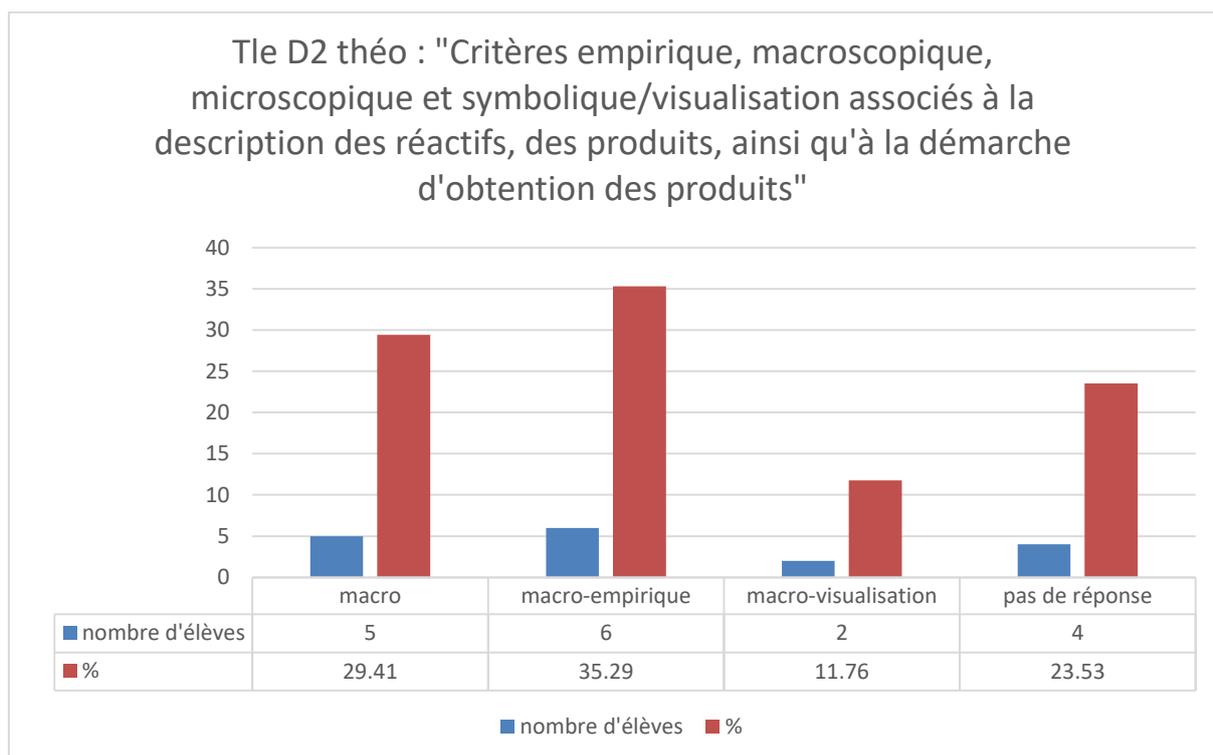


Tle D1 théo : "Critères empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation associés à la description des réactifs, des produits ainsi qu'à la démarche d'obtention des produits"



Tle D2 exp : "Critères empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation associés à la description des réactifs, des produits, ainsi qu'à la démarche d'obtention des produits"





**Graphique 33 : Résultats de la neuvième question du post test pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 33, nous avons :

En classe de terminale C expérimentale, 23,81% des élèves emploient uniquement le niveau macroscopique, 61,90% emploient à la fois le niveau macroscopique et le niveau empirique, 9,52% emploient le niveau macroscopique, le niveau empirique et le niveau symbolique /visualisation à la fois. 4,76% des élèves emploient à la fois le niveau macroscopique, le niveau microscopique et le niveau symbolique/visualisation. Intéressons-nous aux exemples de réponses. Un premier élève propose la réponse ci-après : « *les réactifs à utiliser sont l'huile de palme qui est un acide gras, la soude qui est la base forte* ». Dans cet exemple de réponse, nous avons le terme « *soude* » pour le niveau macroscopique. Un second élève propose la réponse ci-après : « *comme réactif à utiliser, on a l'huile de palme, soude, le silicate à celle on a comme produit le savon tout en versant la solution de soude dans un becher contenant de l'huile de palme puis remuer d'un sens* ». Dans cet exemple de réponse, nous avons le terme « *silicate* » pour le niveau macroscopique et « *verser* » pour le niveau empirique. Un troisième élève propose la réponse ci-après : « *comme réactif ici, nous avons le triester, qui est le produit du mélange de l'acide carboxylique avec de l'alcool. Donc le triester est mélangé avec une solution de soude qui est une base qui capte les protons H<sup>+</sup> du triester dans ce cas* ».

*comme produit nous avons l'obtention du glycerol et du savon ».* Dans cet exemple de réponse, nous avons le terme « *triester* » pour le niveau macroscopique, « *mélangé* » pour le niveau empirique et «  $H^+$  » pour le niveau symbolique /visualisation. Un quatrième élève propose la réponse ci-après : « *comme reactif nous avons le triester (c'est un corps gras) qui s'obtient par action d'un alcool sur 3 molécules d'acide carboxylique ; nous avons aussi la base forte qui a une caractéristique de capter les ions  $H^+$  ; ils peuvent être le (NaOH, KOH) lorsque la base et le triester réagissent on obtient le carboxylate de sodium ou de potassium et un alcool ».* Dans cet exemple de réponse, nous avons le terme « *alcool* » pour le niveau macroscopique, « *molécule* » pour le niveau microscopique et « *NaOH, KOH* » pour le niveau symbolique/visualisation. En classe de terminale C théorique, nous avons 13,64% des élèves qui emploient exclusivement le niveau macroscopique, 4,55% emploient uniquement le niveau empirique, 13,64% emploient le niveau macroscopique et le niveau empirique à la fois, 9,09% emploient à la fois les niveaux macroscopique, empirique et symbolique /visualisation, 59,09% ne proposent pas de réponse.

En classe de terminale D1 expérimentale, 28,57% des élèves emploient le niveau macroscopique uniquement, 50% emploient à la fois le niveau macroscopique et le niveau empirique, 14,29% emploient le niveau empirique, 7,14% emploient le niveau macroscopique, le niveau empirique et le niveau symbolique/visualisation. Concernant la classe de terminale D1 théorique, nous avons : pour le niveau macroscopique 57,14%, pour les niveaux macroscopique, empirique et symbolique/visualisation 7,14%, pour le niveau macroscopique et le niveau empirique 21,43%, 7,14% pour le niveau macroscopique et le niveau symbolique/visualisation. Le taux d'abstention est de 7,14%.

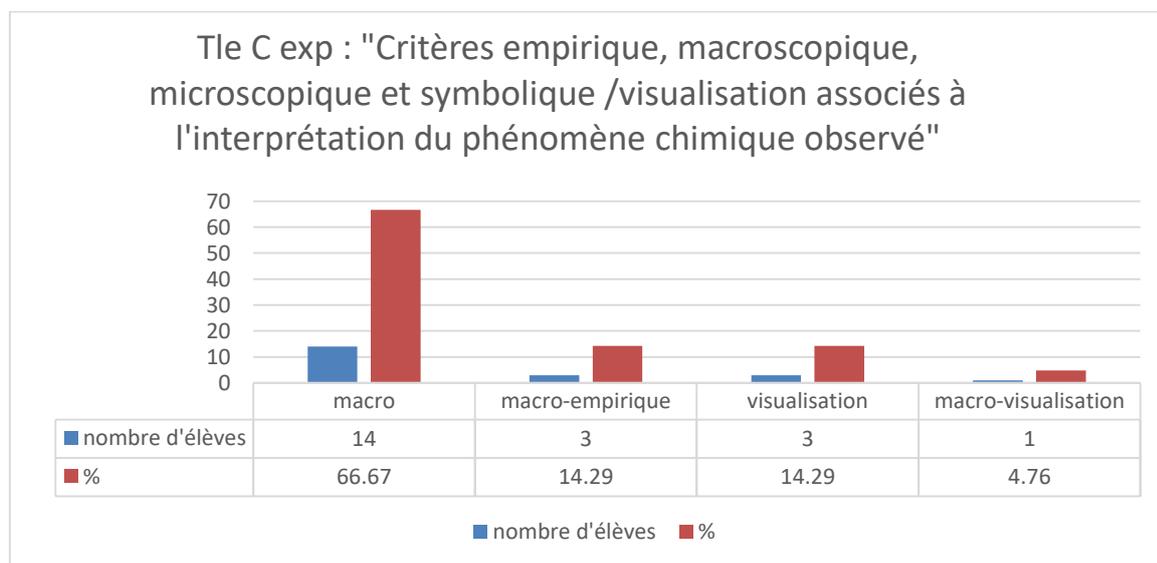
En classe de terminale D2 expérimentale, nous avons 23,53% des élèves qui emploient exclusivement le niveau macroscopique, 47,06% emploient le niveau macroscopique et le niveau empirique à la fois, 11,76% emploient uniquement le niveau empirique, 17,65% emploient le niveau macroscopique et le niveau symbolique / visualisation. En classe de terminale D2 théorique, nous avons 29,41% des élèves qui emploient uniquement le niveau macroscopique, 35,29% emploient à la fois le niveau macroscopique et le niveau empirique, 11,76% emploient le niveau macroscopique et le niveau symbolique / visualisation à la fois. 23,53% des élèves ne proposent pas de réponses.

### 12-12-1 Bilan des analyses *a posteriori* de la neuvième question du post test pour l'ensemble des classes

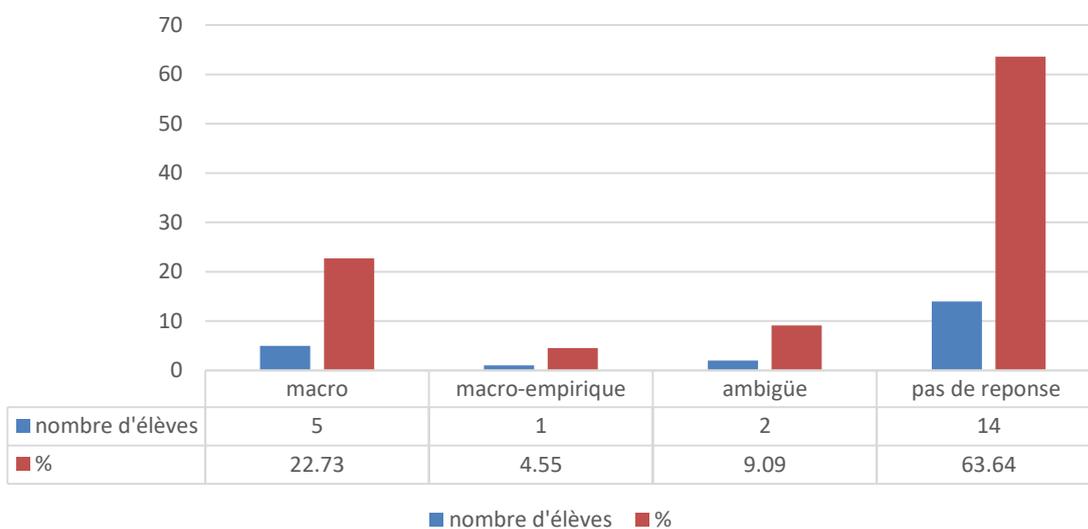
Dans quatre classes sur six, le niveau macroscopique et le niveau empirique sont majoritaires. En classe de terminale C théorique, le taux d'abstention est interpellant (59,09%) les élèves ne proposent pas de réponse. En classe de terminale D1 théorique, le niveau macroscopique est employé majoritairement. Cet exemple d'emploi préférentiel du caractère descriptif semble indiquer que les élèves s'efforcent de proposer une réponse malgré les difficultés qu'ils rencontrent (classe théorique). Le niveau symbolique est peu employé conformément aux attentes (caractère descriptif attendu). En dehors de la classe de terminale C expérimentale où nous retrouvons le niveau microscopique dans une réponse d'un élève, dans les autres classes, on ne retrouve pas ce niveau, car les élèves se limitent à la description et non à l'explication. Intéressons-nous à la question 10.

### 12-13 Résultats des analyses *a posteriori* de la dixième question du post test pour l'ensemble des classes

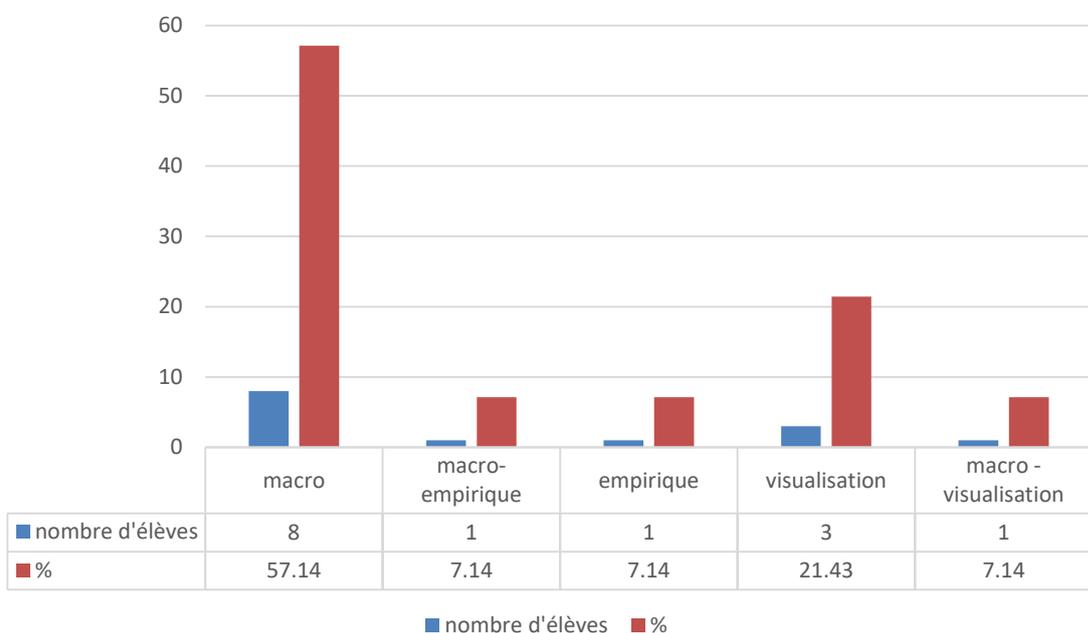
La dixième question du post test est : « *Comment peut-on interpréter le phénomène observé ?* ». Grâce à cette question, on veut regarder si l'élève parle de « *modèle* », « *d'équation bilan de réaction chimique* », ou bien s'il explique ce qui se passe au niveau microscopique. On s'intéresse par la suite aux critères empirique, macroscopique, microscopique ou symbolique/visualisation qui pourraient être présents dans les réponses. Les résultats obtenus sont les suivants :



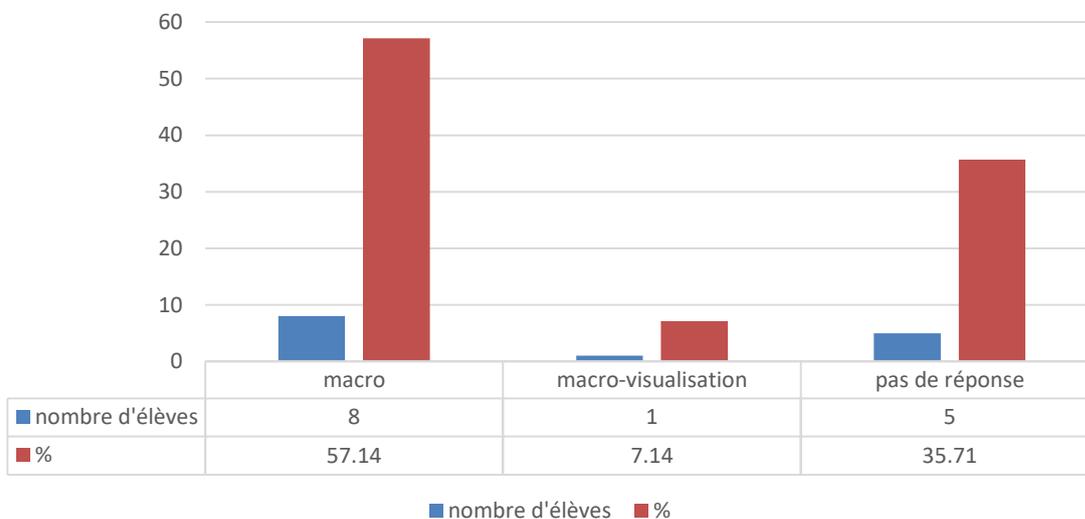
Tle C théo : "Critères empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/ visualisation associés à l'interprétation du phénomène chimique observé"



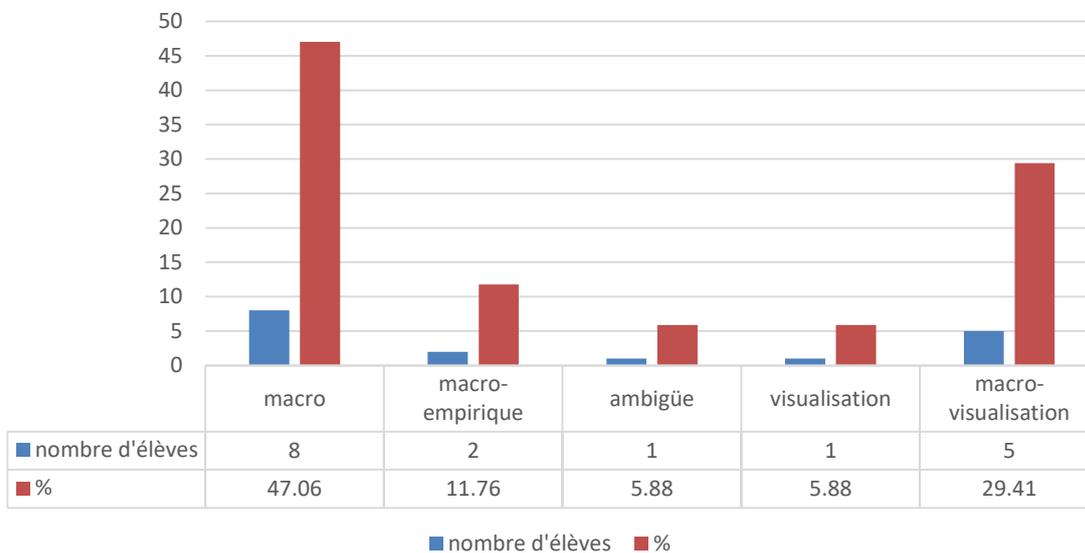
Tle D1 exp : "Critères empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation associés à l'interprétation du phénomène chimique observé"

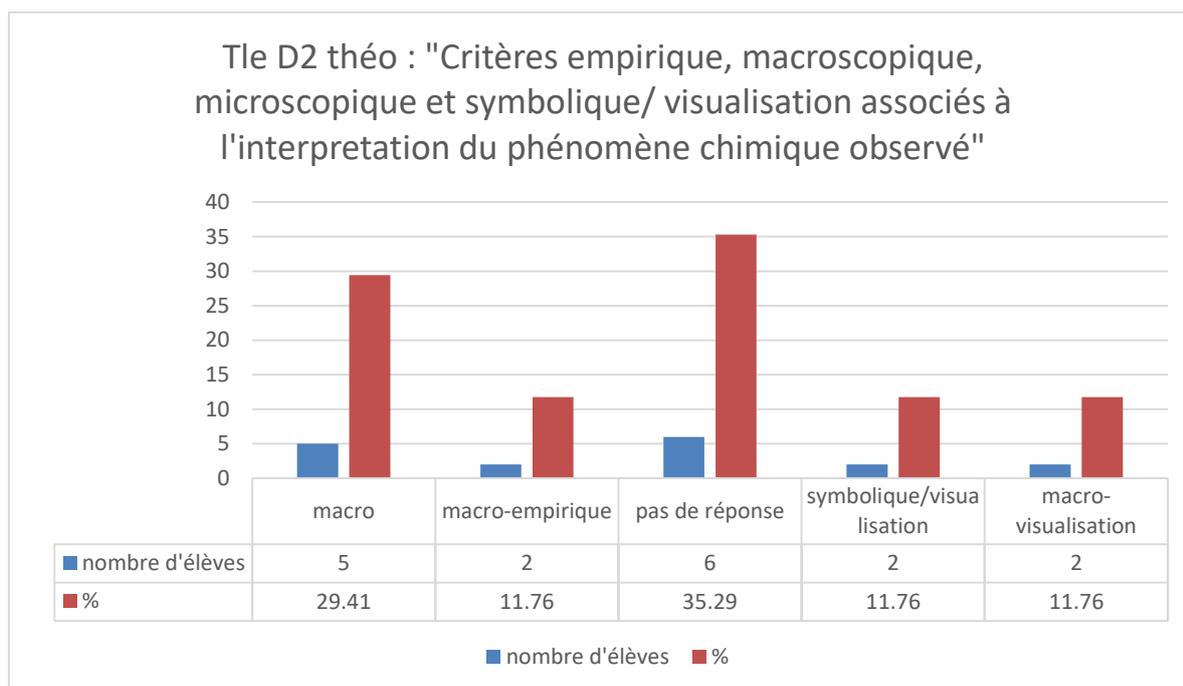


Tle D1 théo : "Critères empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation associés à l'interprétation du phénomène chimique observé"



Tle D2 exp : " Critères empirique, macroscopique, microscopique et symbolique / visualisation associés à l'interprétation du phénomène chimique observé"





**Graphique 34 : Résultats de la dixième question du post test pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 34, nous avons :

En classe de terminale C expérimentale, nous avons 66,67% des élèves qui emploient le niveau macroscopique uniquement, 14,29% le niveau macroscopique et le niveau empirique à la fois, 14,29% pour le niveau symbolique/visualisation uniquement, 4,76% le niveau macroscopique et le niveau symbolique/ visualisation. Comme exemple de réponse, nous avons la réponse ci-après d'un premier élève : « *le phénomène observé est la formation d'un composé solide ; nous observons aussi un changement de couleur de la solution* ». Dans cet exemple de réponse, nous avons le terme « *solution* » pour le niveau macroscopique. Un second élève propose la réponse ci-après : « *on peut l'interpréter de la façon ou lorsqu'on met du triester dans un becher, puis on verse au fur et à mesure dans ce becher une solution de soude prélevé à l'aide d'une pipette graduée* ». Dans cet exemple de réponse, nous avons le terme « *pipette graduée* » pour le niveau empirique et « *soude* » pour le niveau macroscopique. Un troisième élève propose la réponse ci-après : nous la retranscrivons « *l'élève a écrit une première équation bilan qui conduit au triester, puis il a ajouté trois molécules de NaOH → (savon)* ». Cette réponse se situe entièrement au niveau symbolique /visualisation. Un quatrième élève propose la réponse ci-après : « *on interprète ce phénomène en disant que la soude qui est une base capte les protons  $H^+$  du triester et permet la formation du savon de formule générale (R-*

$COO^- + Na^+$ ) ». Dans cette réponse, nous avons le terme « soude » pour le niveau macroscopique et «  $(R-COO^- + Na^+)$  » pour le niveau symbolique/visualisation. En classe de terminale C théorique, nous avons 22,73% des élèves qui emploient le niveau macroscopique uniquement, 4,55% emploient à la fois le niveau macroscopique et le niveau empirique, 9,09% proposent une réponse ambiguë, 63,64% ne proposent pas de réponses.

En classe de terminale D1 expérimentale, nous avons 57,14% des élèves qui emploient le niveau macroscopique uniquement, 7,14% emploient le niveau macroscopique et le niveau empirique, 7,14% emploient le niveau empirique uniquement, 21,43% emploient le niveau symbolique/visualisation, 7,14% emploient le niveau macroscopique et le niveau symbolique/visualisation à la fois. En classe de terminale D1 théorique, nous avons : 57,14% des élèves qui emploient uniquement le niveau macroscopique, 7,14% emploient à la fois le niveau macroscopique et le niveau symbolique/visualisation, 35,71% ne proposent pas de réponse.

En classe de terminale D2 expérimentale, nous avons 47,06% des élèves qui emploient exclusivement le niveau macroscopique, 11,76% emploient le niveau macroscopique et le niveau empirique à la fois, 5,88% proposent une réponse ambiguë, 5,88% emploient uniquement le niveau symbolique/visualisation, 29,41% emploient le niveau macroscopique et le niveau symbolique /visualisation à la fois. En classe de terminale D2 théorique, nous avons 29,41% des élèves qui emploient exclusivement le niveau macroscopique, 11,76% emploient à la fois le niveau empirique et le niveau macroscopique, 35,29% des élèves ne proposent pas de réponses, 11,76% des élèves emploient le niveau symbolique/visualisation, 11,76% des élèves emploient à la fois le niveau macroscopique et le niveau symbolique/ visualisation.

### **12-13-1 Bilan des analyses *a posteriori* de la dixième question du post test pour l'ensemble des classes**

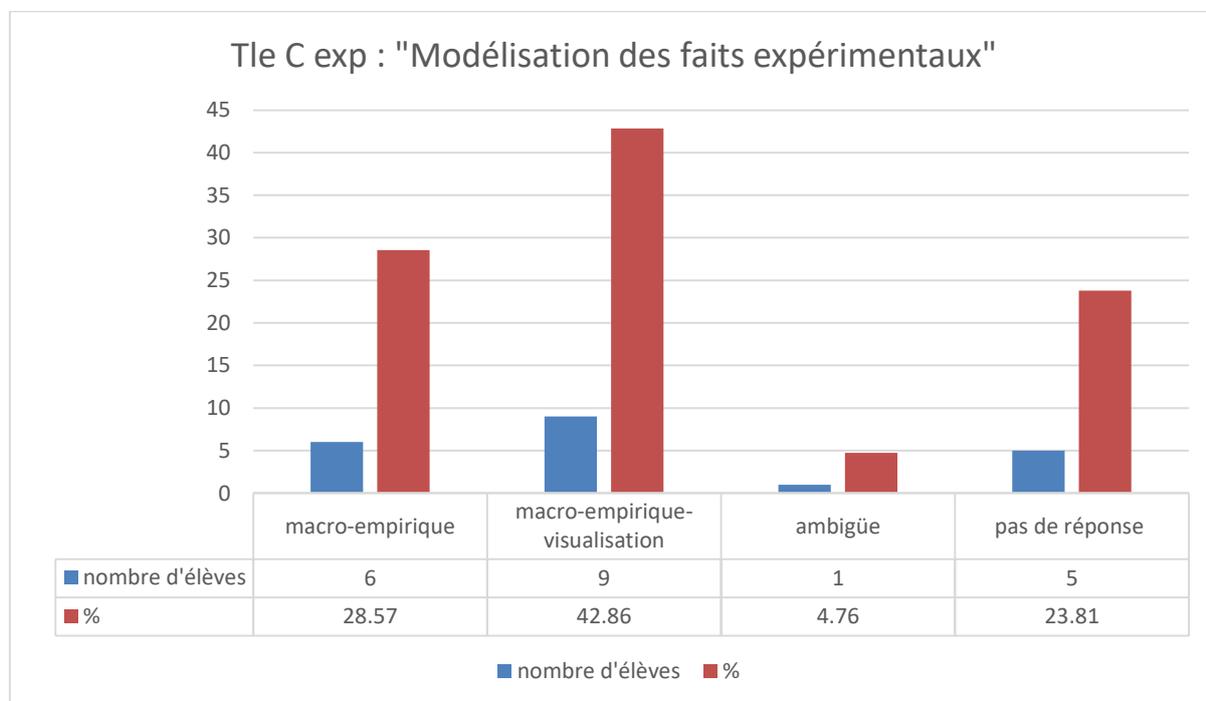
Dans la plupart des classes, les élèves décrivent le phénomène chimique grâce à l'emploi majoritaire du niveau macroscopique. Le taux d'abstention est élevé dans les classes théoriques (63,64% pour la classe de terminale C théorique, 35,71% pour la classe de terminale D1 théorique et 35,29% pour la classe de terminale D2 théorique), ce qui semble indiquer que les élèves qui n'ont pas participé à l'expérimentation ne proposent aucune réponse pour interpréter le phénomène chimique. Par ailleurs, les élèves qui décrivent le phénomène chimique que ce

soit au niveau macroscopique ou encore au niveau empirique n'ont pas donné d'équation bilan comme on aurait pu attendre. Dans aucune des classes nous n'avons observé l'emploi du niveau microscopique.

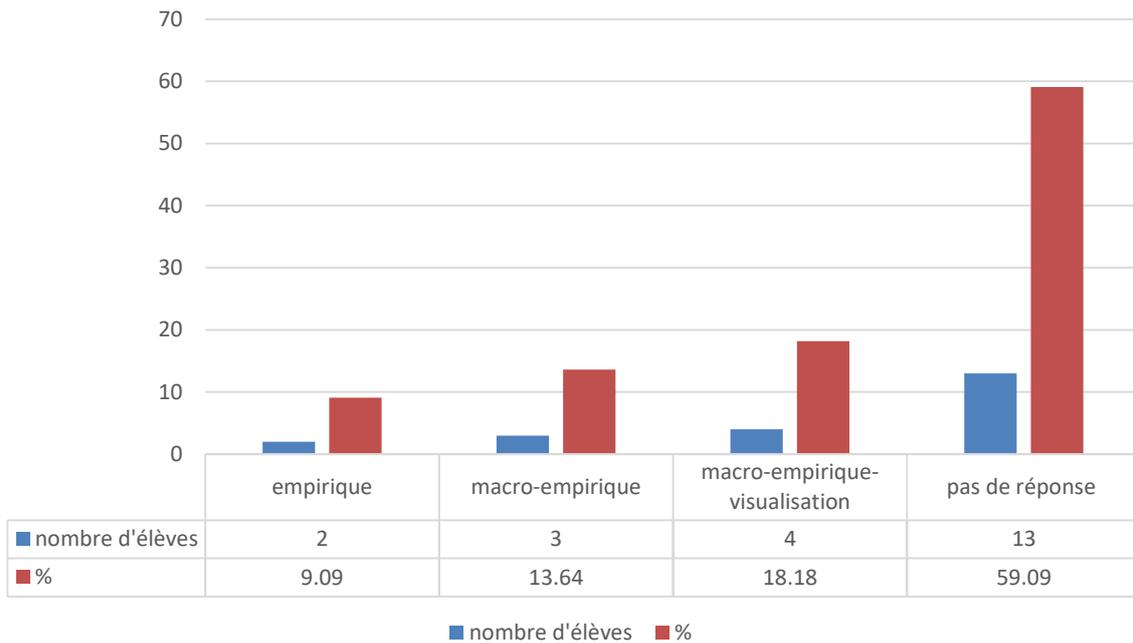
Nous notons cependant l'emploi minoritaire du niveau symbolique/visualisation. Cet emploi du niveau symbolique/visualisation peut s'expliquer puisque les élèves dans le contexte de l'étude ont coutume d'écrire une équation bilan lorsqu'on leur demande d'interpréter le phénomène chimique observé. Nous regarderons dans la question d'après comment les élèves modélisent une réaction chimique.

### 12-14 Résultats des analyses *a posteriori* de la onzième question du post test pour l'ensemble des classes

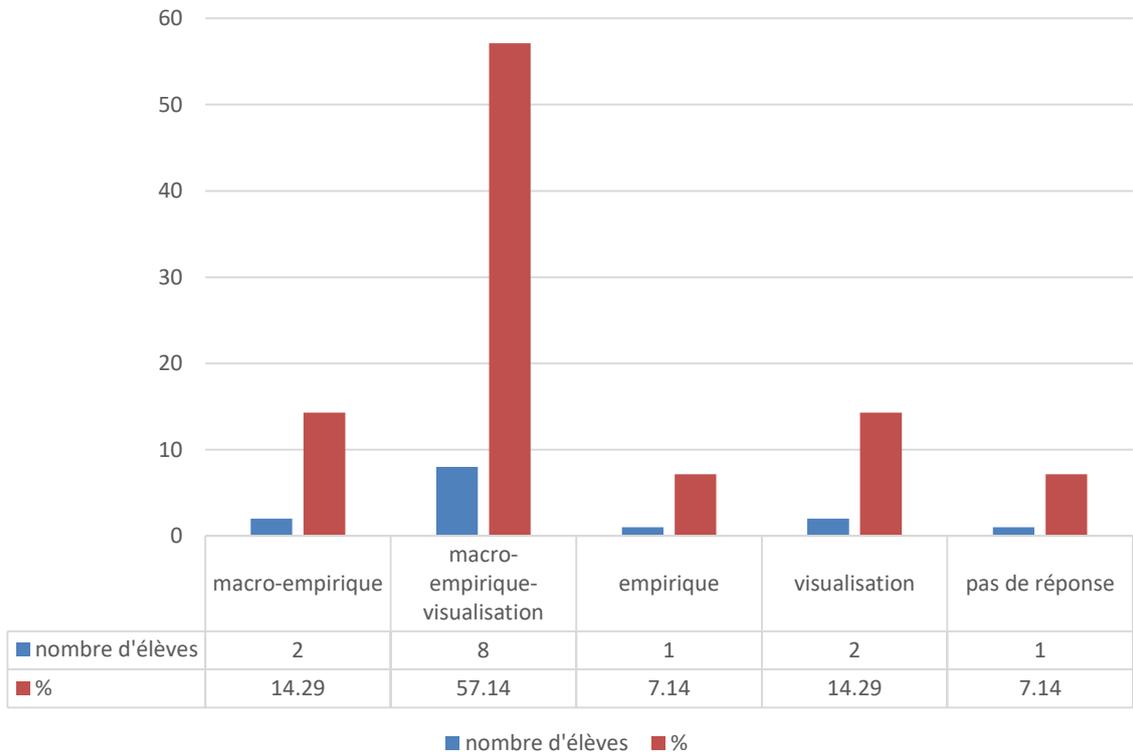
La onzième question du post test est intitulée « *Reproduisez l'expérience à l'aide d'un schéma tout en notant à chaque étape les changements observés* ». Dans cette question, nous attendons de l'élève d'une part, une description du vécu expérimental, l'emploi des schémas pour modéliser le phénomène chimique est fortement attendu. D'autre part, nous souhaitons qu'ils emploient différents niveaux de savoir pour illustrer leurs réponses.



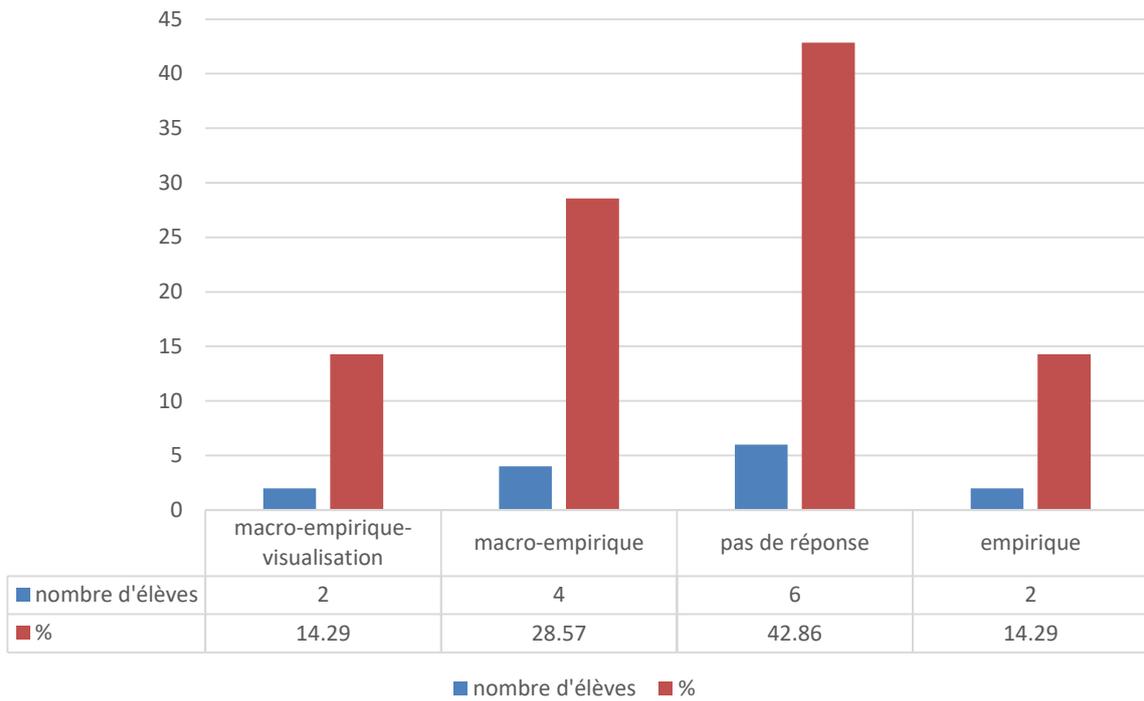
### Tle C théo : "Modélisation des faits expérimentaux"



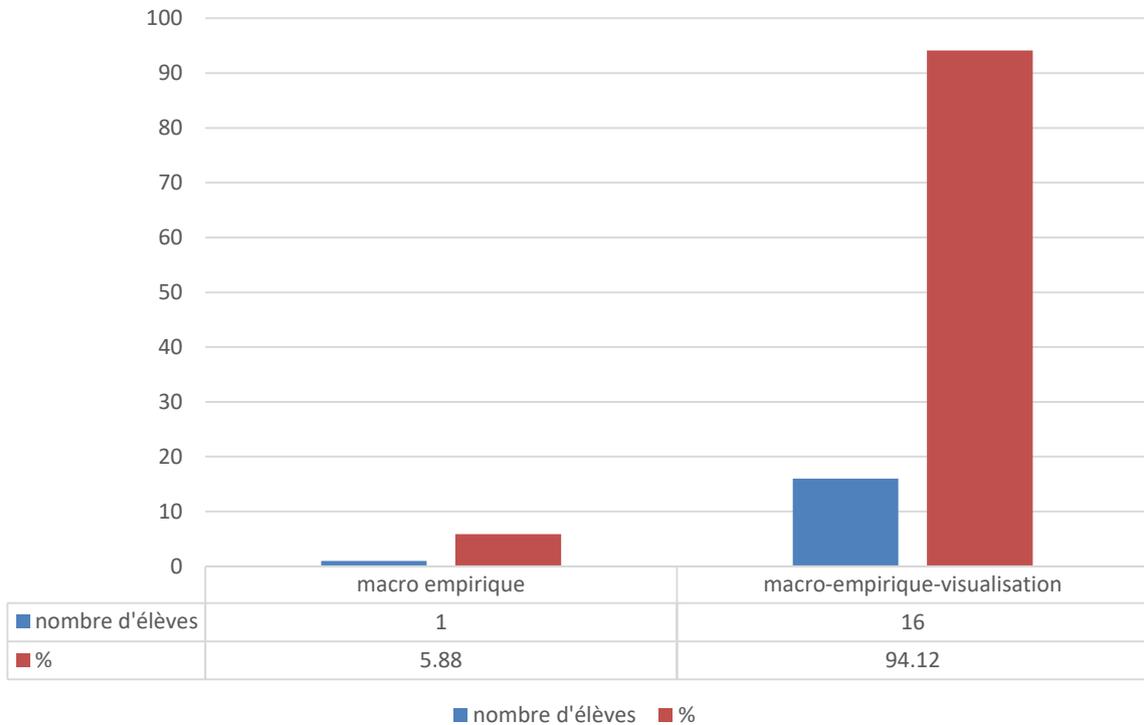
### Tle D1 exp : "Modélisation des faits expérimentaux"

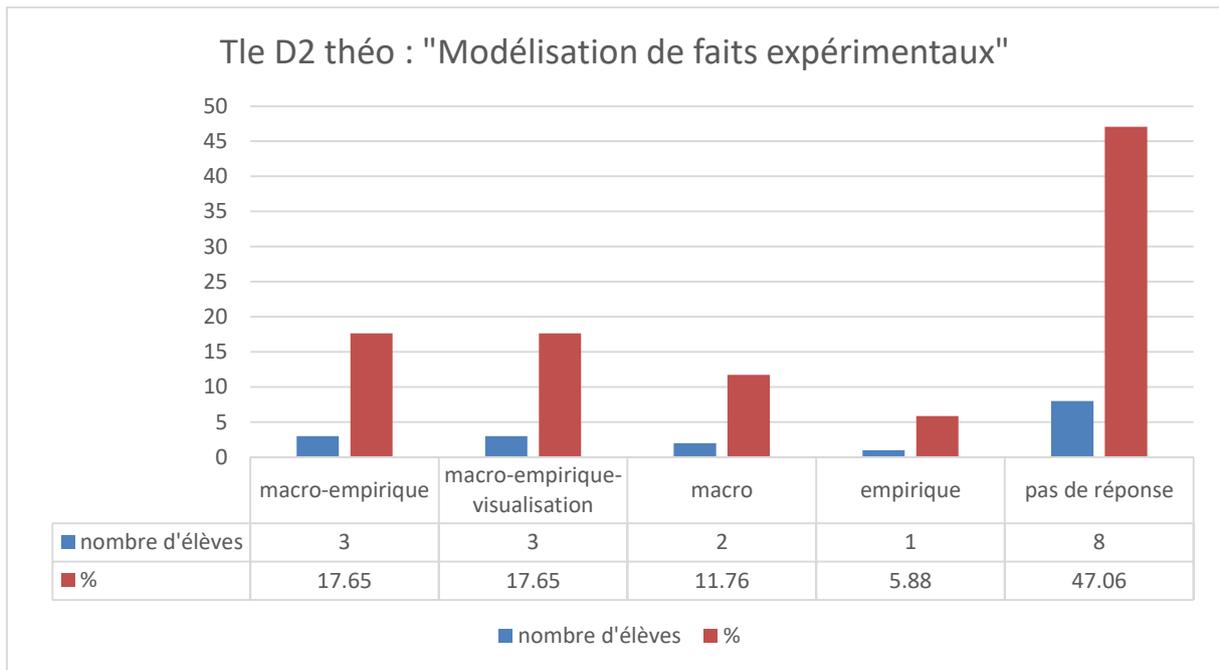


### Tle D1 théo : "Modélisation des faits expérimentaux"



### Tle D2 exp : "Modélisation des faits expérimentaux"

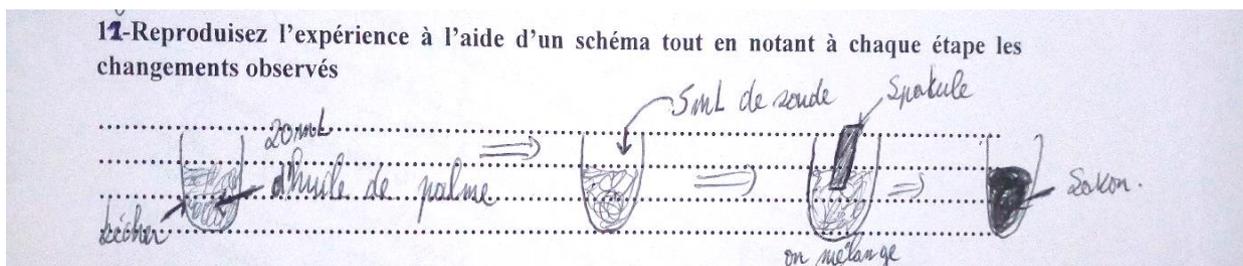




**Graphique 35 : Résultats de la onzième question du post test pour l'ensemble des classes**

D'après le graphique 35, nous avons :

En classe de terminale C expérimentale, les élèves réalisent des modèles en employant à 28,57% les niveaux macroscopique et empirique à la fois, à 42,86% les niveaux macroscopique, empirique et symbolique / visualisation. 4,76% proposent des réponses ambiguës et 23,81% des élèves ne proposent pas de réponses. Intéressons-nous aux exemples de réponses



**Figure 38 : Réponse proposée par un élève**

Dans cet exemple de réponse, nous avons les schémas qui représentent une modélisation de la situation expérimentale, l'emploi du terme « *bécher* » pour désigner le matériel du laboratoire (niveau empirique), l'emploi du terme « *soude* » permet d'illustrer le niveau macroscopique. En classe de terminale C théorique, nous avons des élèves qui réalisent une

modélisation : 9,09% pour le niveau empirique, 13,64% pour le niveau macroscopique et le niveau empirique, 18,18% pour le niveau macroscopique, empirique et symbolique/visualisation, 59,09% ne proposent pas de réponses.

En classe de terminale D1 expérimentale, les élèves réalisent une modélisation : 14,29% au niveau macroscopique et au niveau empirique, 7,14% au niveau empirique, 14,29% au niveau symbolique/visualisation, 54,14% aux niveaux macroscopique, empirique et symbolique/visualisation, 7,14% ne proposent pas de réponse. Concernant la classe de terminale D1 théorique, nous avons des élèves qui réalisent une modélisation : 14,29% aux niveaux macroscopique, empirique et symbolique/ visualisation, 28,57% aux niveaux macroscopique et empirique. Nous avons aussi 14,29% de modélisation au niveau empirique et 42,86% ne proposent pas de réponses.

En classe de terminale D2 expérimentale, les élèves réalisent une modélisation : 5,88% au niveau macroscopique et au niveau empirique, 94,12% aux niveaux macroscopique, empirique et symbolique/visualisation. Concernant la classe de terminale D2 théorique, les élèves réalisent les modélisations ci-après : 17,65% au niveau macroscopique et au niveau empirique, 17,65% de modélisations aux niveaux macroscopique, empirique et symbolique/visualisation, 11,76% au niveau macroscopique, 5,88% au niveau empirique, 47,06% ne proposent pas de réponse.

### **12-14-1 Bilan des analyses *a posteriori* de la onzième question du post test pour l'ensemble de classes**

La onzième question du post test porte sur la modélisation. En effet, dans une moitié des classes (classes expérimentales), les élèves réalisent correctement la modélisation. Ils dessinent des béchers, puis indiquent ce qu'ils contiennent. Dans la deuxième moitié des classes, le taux d'abstention est très élevé (classes théoriques). Les élèves affirment ne pas détenir les informations relatives à l'expérimentation. Les élèves qui font des schémas précisent dans la majeure partie des cas les solutions contenues dans les béchers. L'emploi des symboles, des signes ainsi que les schémas permet aux élèves de communiquer avec différents registres, avec différents niveaux de savoir (niveau empirique, macroscopique, microscopique niveau symbolique/visualisation).

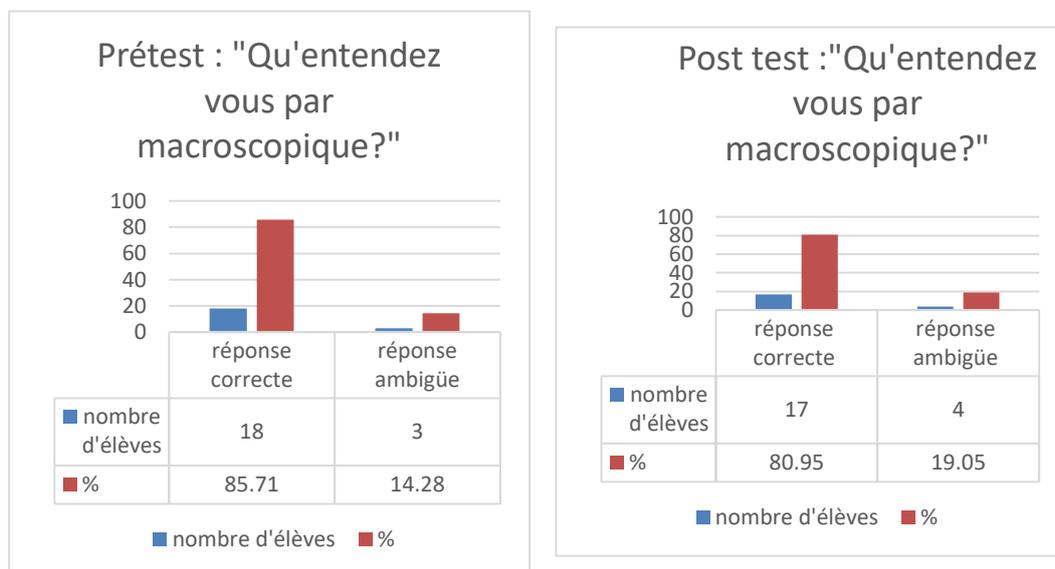
## **12-15 Conclusion**

Ce chapitre a permis de présenter les résultats puis de réaliser les analyses *a posteriori* pour chacune des questions du post test. Les résultats ont été étudiés les uns après les autres. Dans la plupart des classes théoriques, on note un taux d'abstention très élevé ce qui semble indiquer que les élèves ne possèdent pas les informations relatives à ces questions. On voit bien que les explications théoriques d'une expérience ne remplacent pas la manipulation par les élèves eux-mêmes. Le treizième chapitre est réservé à la comparaison des analyses a priori réalisées aux chapitres onze et aux analyses a posteriori réalisées au chapitre douze. Il permettra de vérifier l'existence ou non d'une évolution significative dans les appréhensions des élèves.

## CHAPITRE 13 : COMPARAISON DES ANALYSES *A PRIORI* ET *A POSTERIORI*

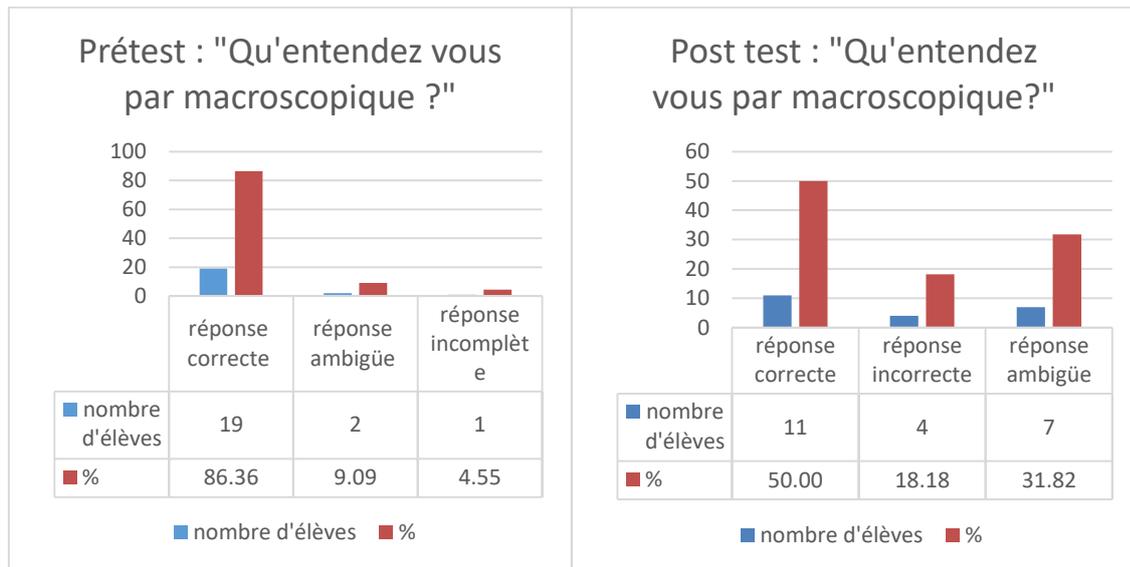
Ce chapitre compare les analyses *a priori* et les analyses *a posteriori*. Cette comparaison est nécessaire pour la validation des hypothèses engagées dans la recherche. Pour y parvenir, un bref rappel des résultats est effectué pour une bonne compréhension. On compare les analyses *a priori* et les analyses *a posteriori* question après question et ceci pour chaque classe. Nous avons formulé une hypothèse par classe (expérimentale et théorique). Pour les classes expérimentales, nous acceptons l'hypothèse suivante : « il y a une évolution significative dans les appréhensions des élèves » lorsque  $\chi_{calculé} > \chi_{seuil}$  avec une augmentation de la proportion des réponses correctes entre le prétest et le post test. Pour les classes théoriques, nous acceptons l'hypothèse suivante : « il n'y a pas d'évolution significative dans les appréhensions des élèves » lorsque  $\chi_{calculé} < \chi_{seuil}$  ou encore  $\chi_{calculé} > \chi_{seuil}$  avec une baisse de la proportion des réponses correctes entre le prétest et le post test. Pour tout autre cas nous refusons les hypothèses aussi bien dans les classes expérimentales que dans les classes théoriques.

### 13-1 Comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* de la première question commune au prétest et au post test



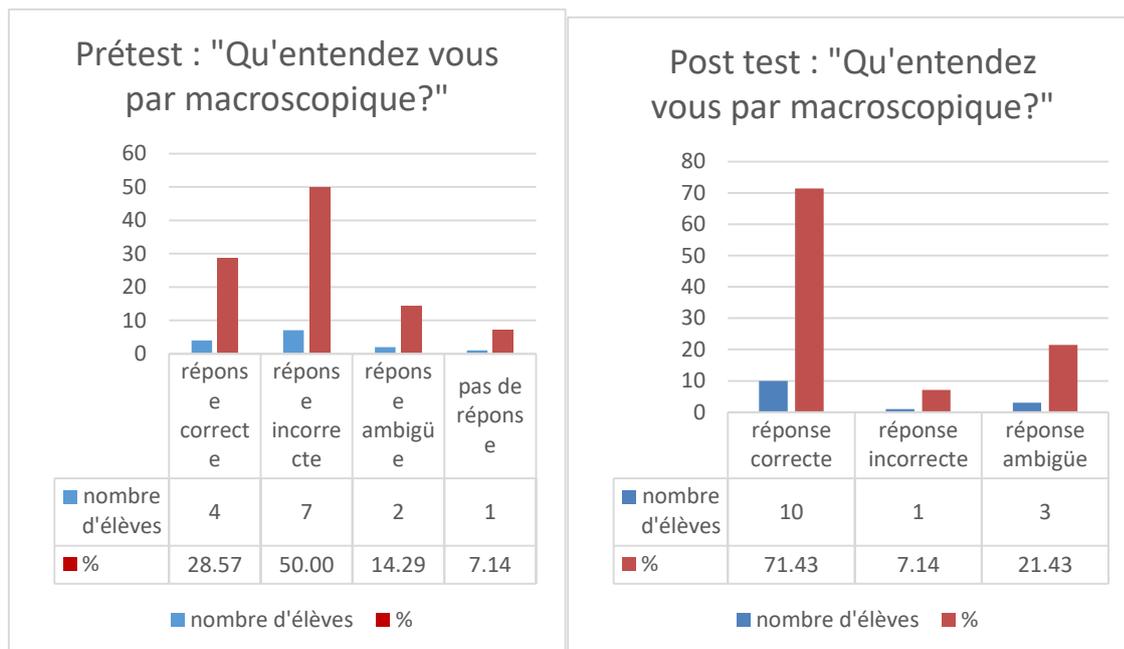
**Graphique 36 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale C expérimentale**

D'après le graphique 36, concernant la première question portant sur l'appréhension des élèves sur le macroscopique, la proportion des réponses correctes baisse. Elle passe de 85,71% à 80,95%. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0,17$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves sur le macroscopique : l'hypothèse de recherche est rejetée au seuil de 5%.



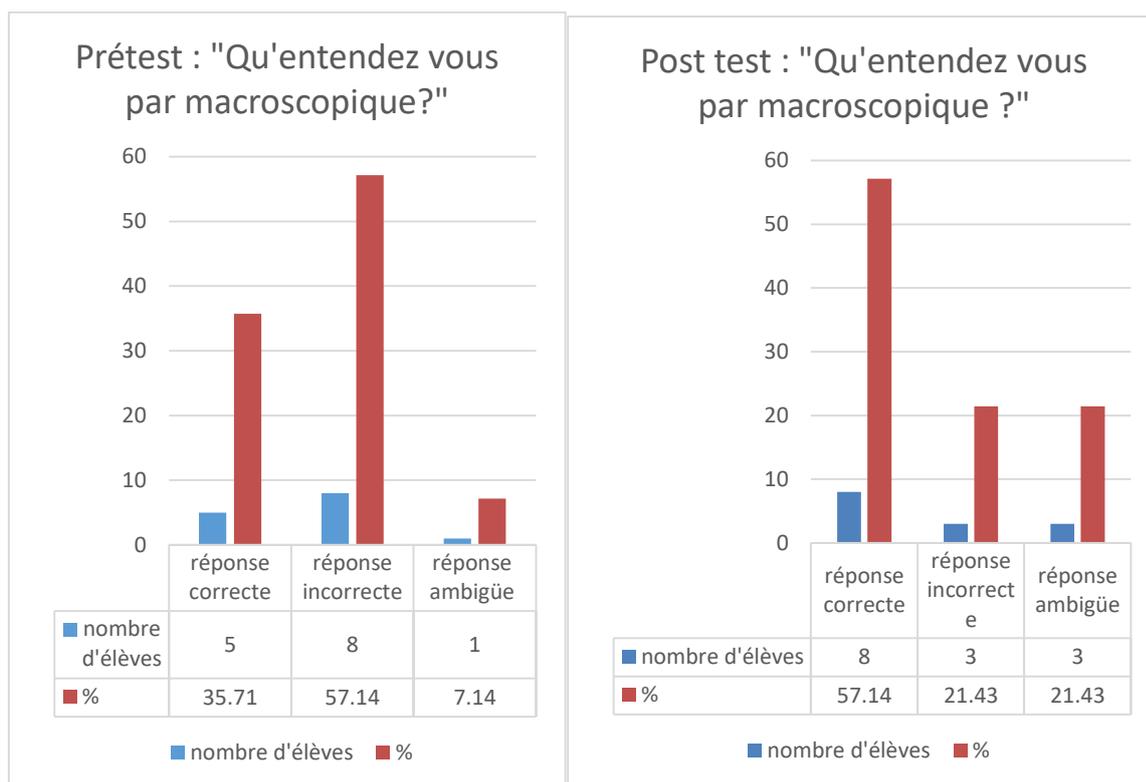
### Graphique 37 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale C théorique

D'après le graphique 37, nous avons une baisse des réponses correctes entre le prétest et le post test de (86,36% à 50%). En effet, au prétest, la proportion des réponses correctes semble indiquer que les élèves n'éprouvent pas de difficultés concernant leurs appréhensions sur le macroscopique. Calculons le  $\chi^2$ , pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 6,706$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme  $\chi^2_{\text{calculé}} > \chi^2_{\text{seuil}}$ , il y a une évolution significative entre les appréhensions des élèves sur le macroscopique mais : l'hypothèse de recherche est acceptée au seuil de 5% puisque la proportion des réponses correctes est en baisse.



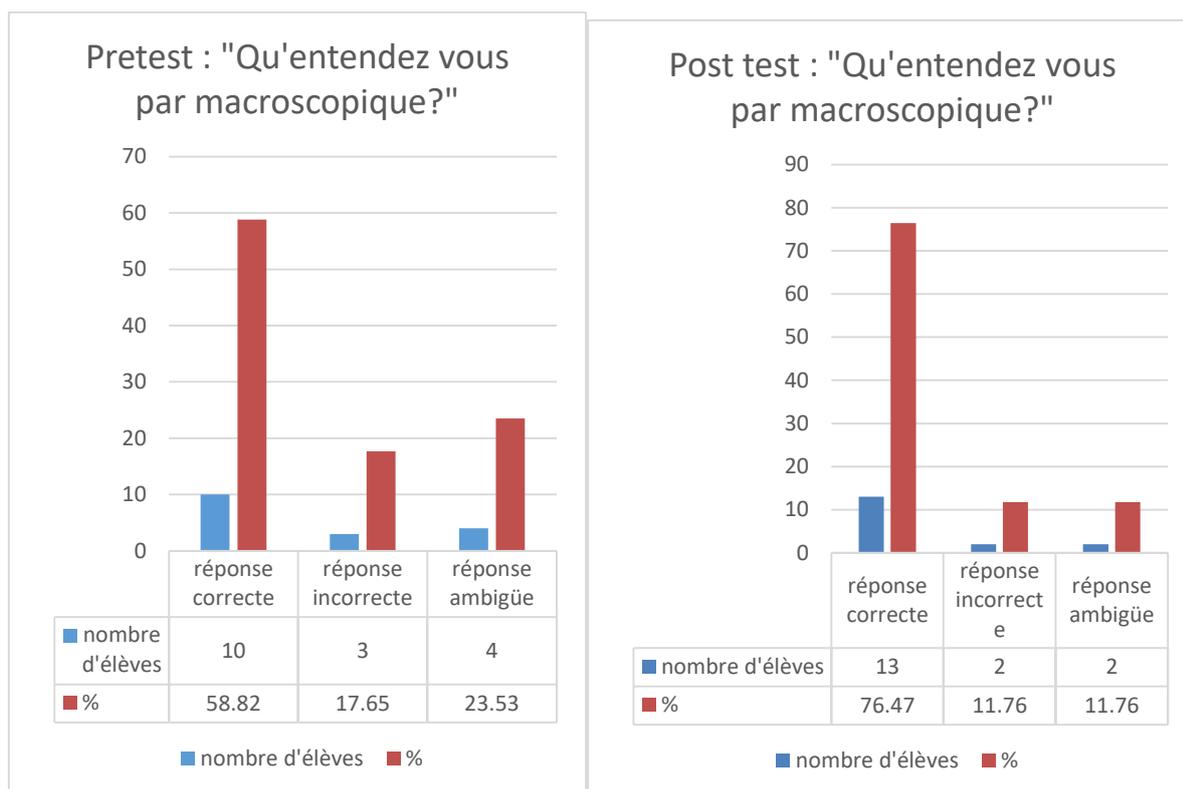
**Graphique 38 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D1 expérimentale**

D'après le graphique 38, on note une évolution significative entre les réponses correctes entre le prétest et le post test de 42,86%. En effet, au prétest, 28,57% des élèves donnent des réponses correctes, et au post test, on a 71,43% de réponses correctes. Pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 5,144$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme  $\chi^2_{\text{calculé}} > \chi^2_{\text{seuil}}$ , il y a une évolution significative entre les appréhensions des élèves sur le macroscopique : l'hypothèse de recherche est acceptée au seuil de 5%.



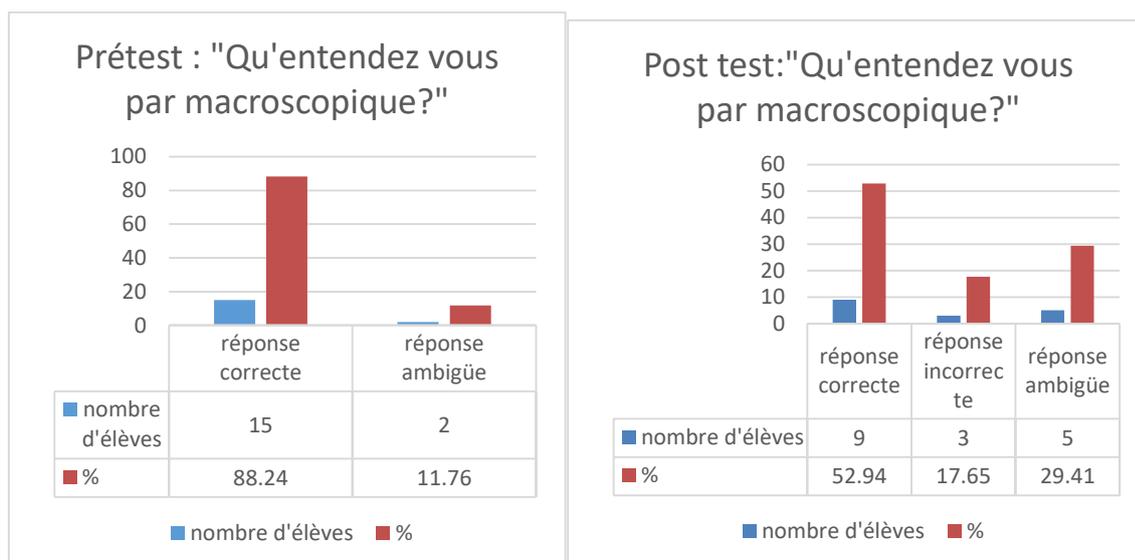
**Graphique 39 : Rappel des résultats des analyses a priori et a posteriori en classe de terminale D1 théorique**

D'après le graphique 39, 35,71% des élèves donnent une réponse correcte au prétest, et 57,14% en donnent une au post test, soit une augmentation de 21,43%. Pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 1,292$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves sur le macroscopique. L'hypothèse suivant laquelle les élèves appartenant à la classe théorique n'ont pas une bonne appréhension sur le macroscopique est acceptée.



**Graphique 40 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D2 expérimentale**

D'après le graphique 40, on note une évolution de la proportion de réponse correcte partant du prétest au post test. En effet, 58,82% des élèves donnent une réponse correcte au prétest, et 76,47% en donnent une au post test, soit une augmentation de 17,65%. Pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 1,21$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves sur le macroscopique en classe de terminale D2 expérimentale.



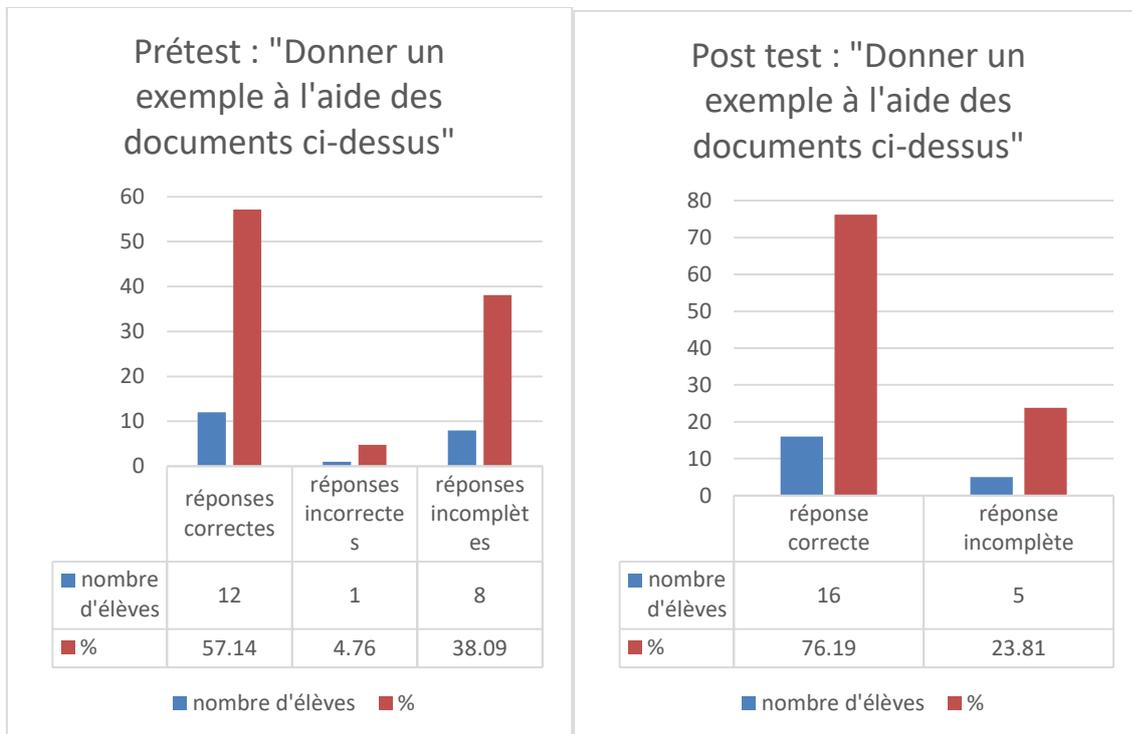
**Graphique 41 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D2 théorique**

D'après le graphique 41, la proportion des réponses correctes diminue. Elle passe de 88,24% à 52,94%, soit une baisse significative de 35,3%. Pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 5,1$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} > \chi^2_{\text{seuil}}$ , il y a une évolution (baisse) significative entre les appréhensions des élèves sur le macroscopique. D'où l'hypothèse de recherche (il n'y a pas d'évolution significative dans les appréhensions des élèves entre le prétest et le post test en classe théorique) est acceptée en classe de terminale D2 théorique.

### **13-1-1 Bilan des comparaisons des analyses *a priori* et *a posteriori* de la première question commune au prétest et post test**

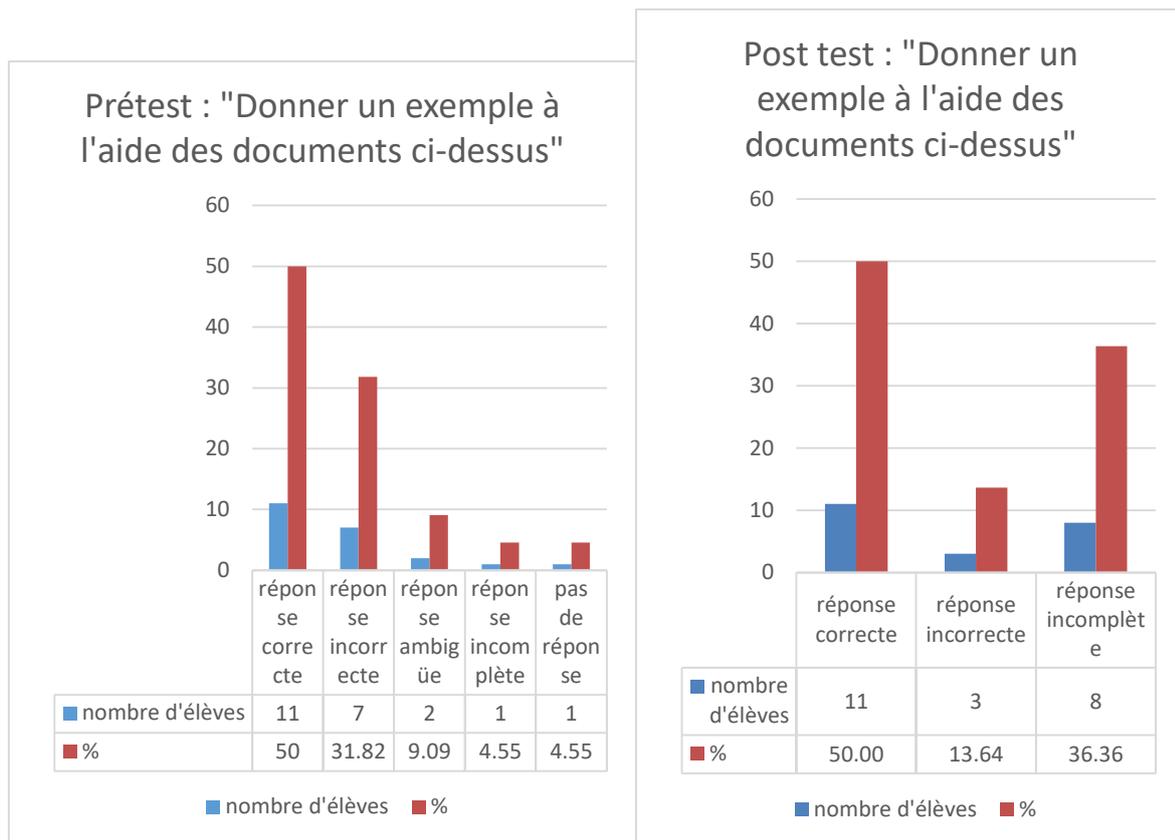
De manière générale, la proportion des réponses correctes varie lorsqu'on passe du prétest au post test. Cependant, l'augmentation semble plus significative dans les classes ayant réalisé l'expérimentation. Le calcul du  $\chi^2$  indique que l'hypothèse de recherche (il y a une évolution significative dans les appréhensions des élèves entre le prétest et le post test) est acceptée en classe de terminale D1 expérimentale. Enfin, il serait intéressant de regarder les exemples associés afin de faire une clarification généralisée concernant les appréhensions sur le macroscopique.

### 13-2 comparaisons des analyses *a priori* et *posteriori* de l'exemple associé à la première question, commune au prétest et post test



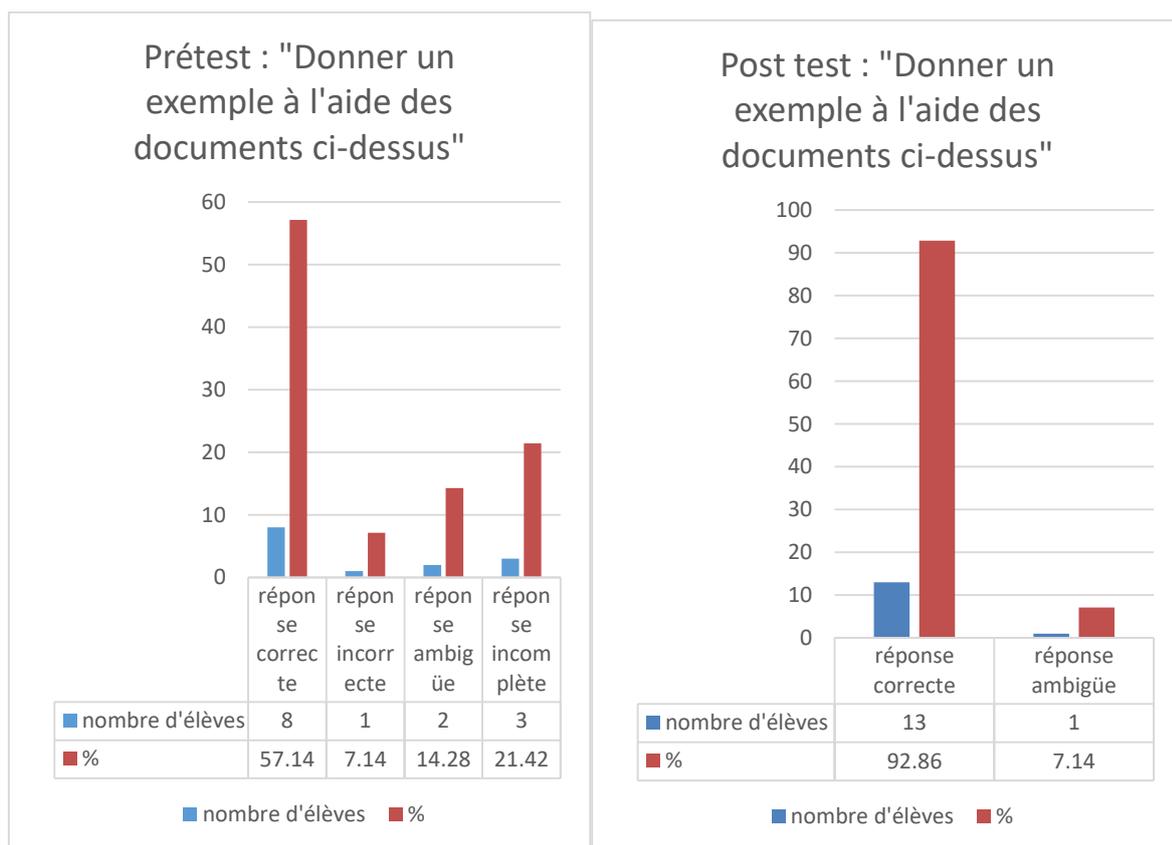
**Graphique 42 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale C expérimentale**

D'après le graphique 42, on note une évolution des réponses des élèves concernant l'exemple associé au macroscopique. En effet, le fait que la proportion des réponses correctes passe de 57,14% à 76,19% semble indiquer que les élèves qui n'avaient pas une bonne appréhension du macroscopique ont amélioré leur perception par la suite, ce qui rend la variation de réponse intéressante. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 1,714$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves sur l'exemple associé au niveau macroscopique en classe de terminale C expérimentale. L'hypothèse de recherche est rejetée.



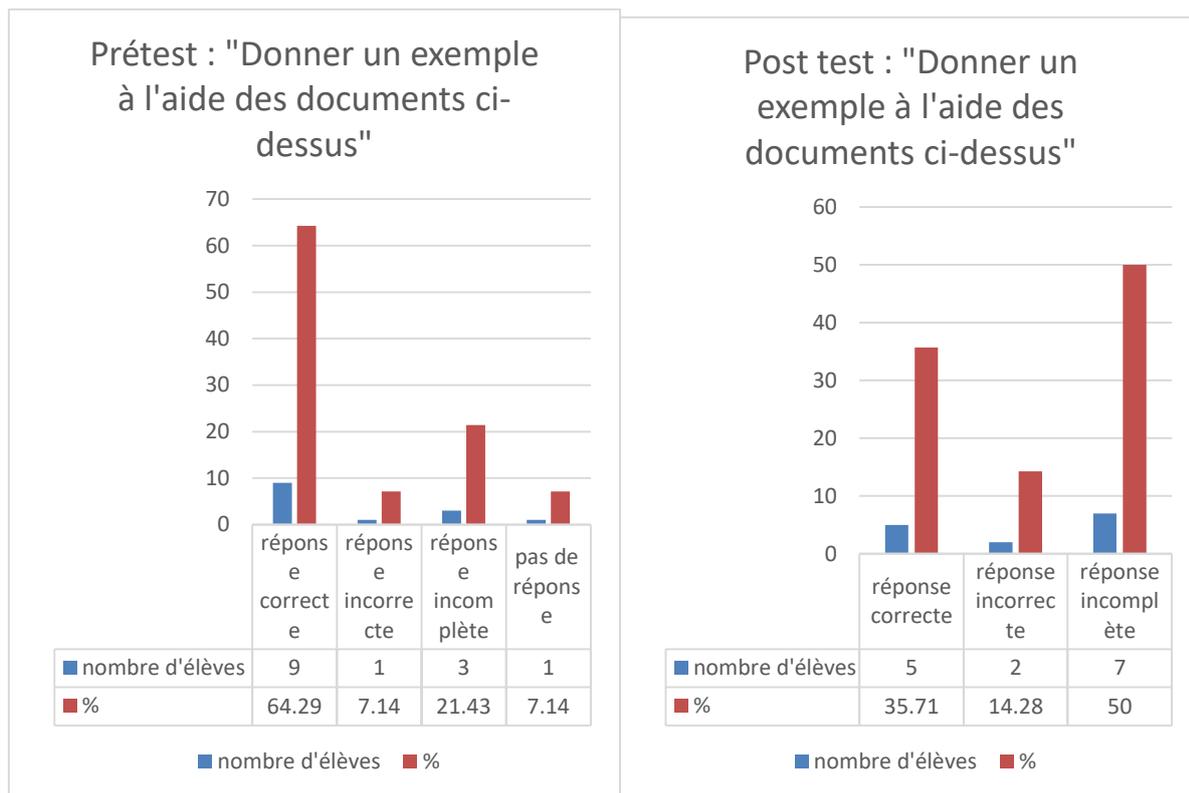
**Graphique 43 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale C théorique**

D'après le graphique 43, on ne note aucune évolution concernant la proportion des réponses correctes. Pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves sur l'exemple associé au macroscopique. Cette comparaison nous permet d'affirmer que les élèves de la classe de terminale C théorique n'appréhendent pas bien le macroscopique. D'où l'hypothèse alternative selon laquelle les élèves qui n'ont pas manipulé n'auront pas une bonne appréhension sur le macroscopique est acceptée.



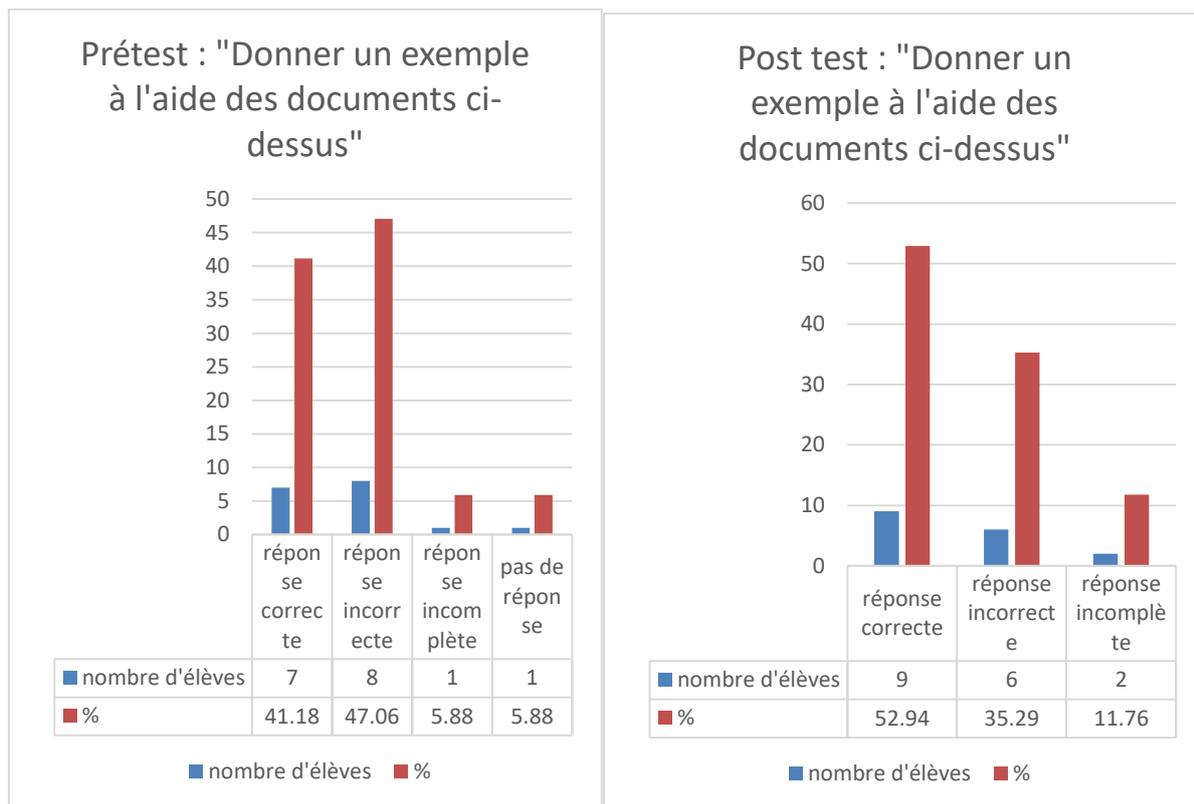
**Graphique 44 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D1 expérimentale**

D'après le graphique 44, en ce qui concerne la proportion des réponses correctes, on note une augmentation. Elle passe de 57,14% à 92,86 %, soit une augmentation significative de 35,72%. Cette augmentation semble indiquer l'influence de la mise en place du dispositif d'expérimentation. Réalisons le test du khi carré. Pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 4,762$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} > \chi^2_{\text{seuil}}$ , il y a une évolution significative entre les appréhensions des élèves sur l'exemple associé au macroscopique, l'hypothèse de recherche est acceptée au seuil de 5%.



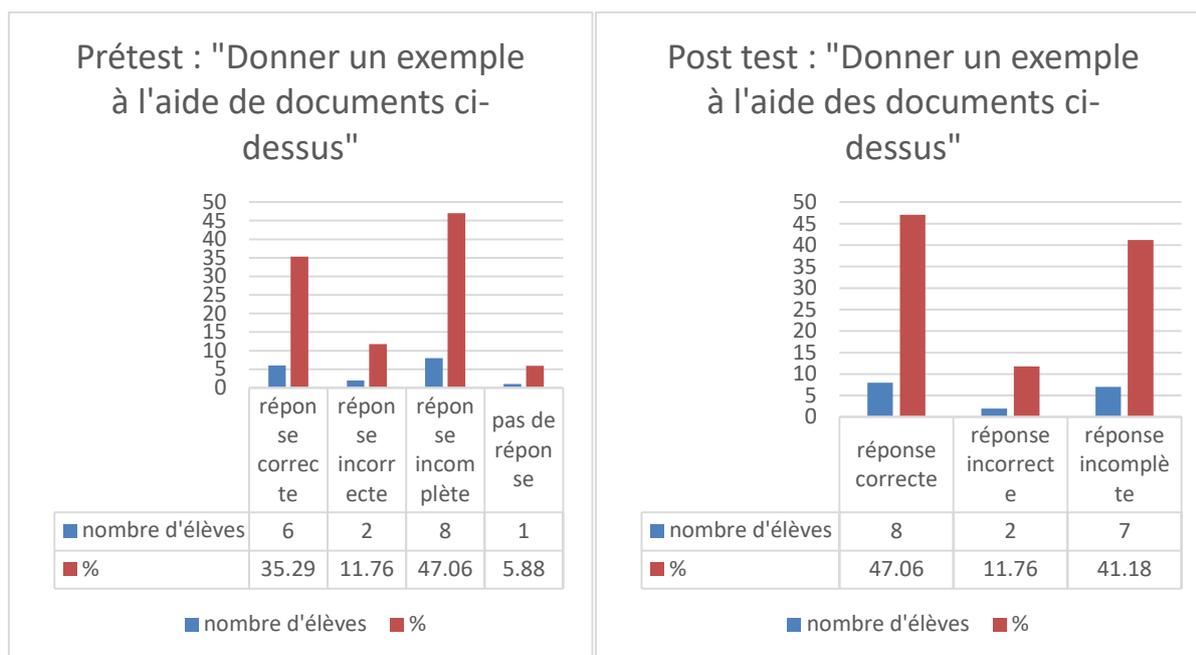
**Graphique 45 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D1 théorique**

D'après le graphique 45, on note une baisse (28,58%) de la proportion des réponses correctes entre le prétest et le post test. Cette baisse nous indique davantage les confusions des élèves au niveau macroscopique. Pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 2,284$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves sur l'exemple associé au macroscopique. L'hypothèse est acceptée.



**Graphique 46 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D2 expérimentale**

La comparaison des résultats (graphique 46) exploités au cours des analyses *a priori* et *a posteriori* nous indique qu'il n'y a pas d'évolution significative entre les réponses des élèves entre le prétest et le post test. En effet, on note une augmentation très faible de la proportion des réponses correctes (11,76%). Pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0,472$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves sur l'exemple associé au macroscopique, d'où le rejet de l'hypothèse.



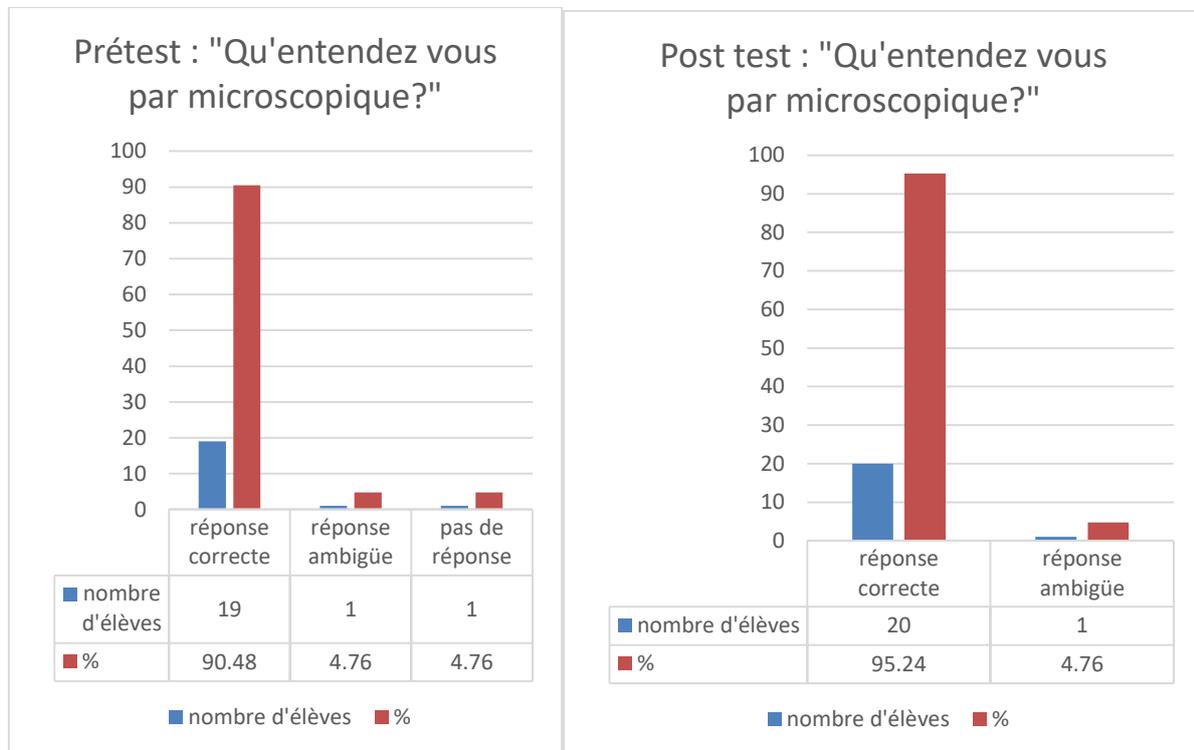
**Graphique 47 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D2 théorique**

La comparaison (graphique 47) des analyses *a priori* et des analyses *a posteriori* indique qu'il n'y a pas d'évolution nettement significative lorsqu'on passe du prétest au post test. En effet, la proportion des réponses correctes augmente juste de 11,77%. Cette faible augmentation signale de nombreuses lacunes chez les élèves, puisque la proportion des réponses incomplètes reste constante. Pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0,486$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves sur l'exemple associé au macroscopique, d'où l'hypothèse de recherche est acceptée.

### 13-2-1 Bilan des comparaisons des analyses *a priori* et *a posteriori* de l'exemple associé à la première question

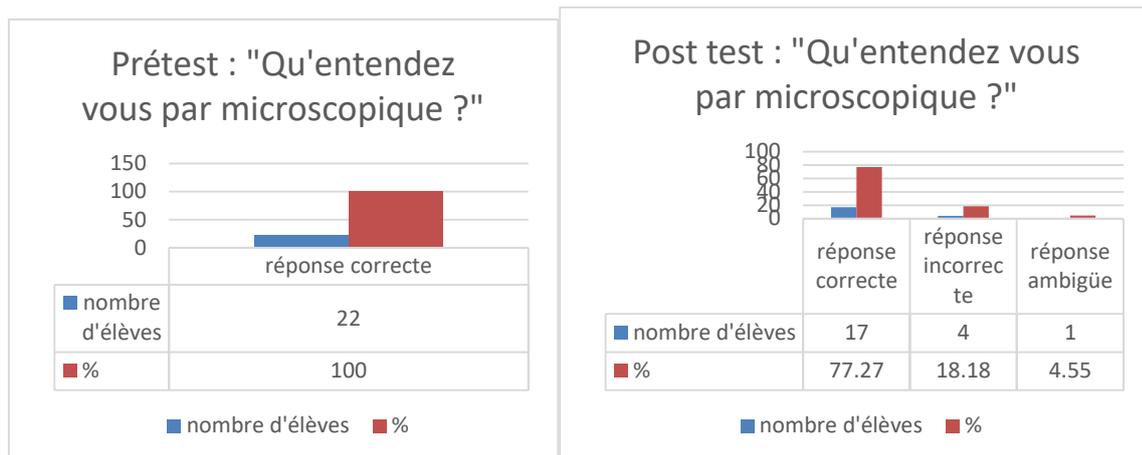
En ce qui concerne l'exemple associé à l'appréhension des élèves sur le macroscopique, l'hypothèse de recherche (il y a une évolution significative des appréhensions des élèves entre le prétest et le post test) est acceptée uniquement en classe de terminale D1 expérimentale.

### 13-3 Comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* concernant la deuxième question



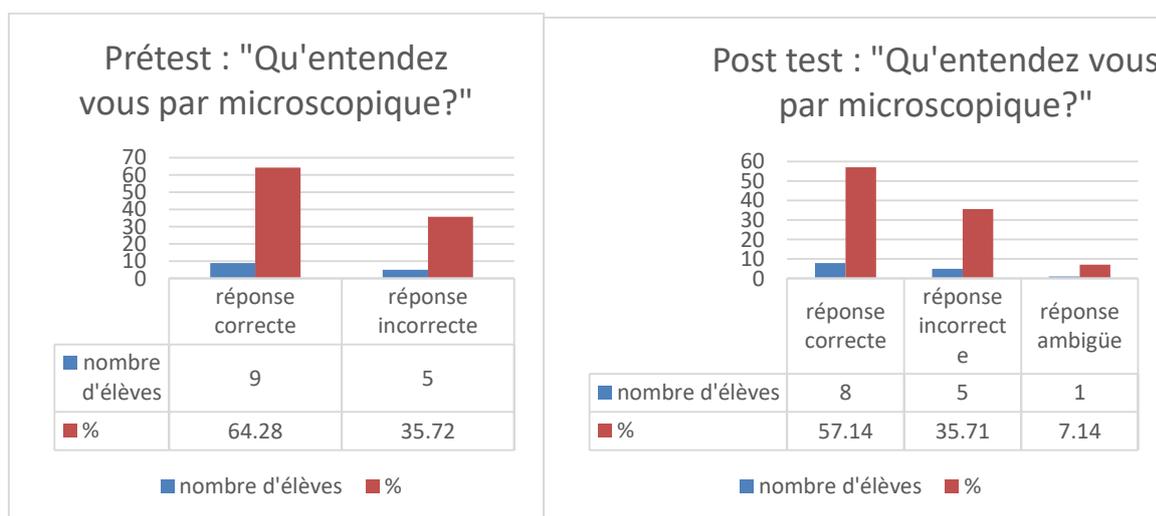
**Graphique 48 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale C expérimentale, concernant la deuxième question**

La comparaison (graphique 48) des analyses *a priori* et *a posteriori* montre que la définition du microscopique semble ne causer aucun souci pour les élèves de la classe de terminale C expérimentale. Malgré le fait que la question ne pose pas de souci majeur, on note une évolution au niveau des réponses correctes. Cette évolution est due à la réduction du taux d'abstention lorsque l'on passe du prétest au post test. Pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0,36$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves sur le microscopique. L'hypothèse de recherche est rejetée.



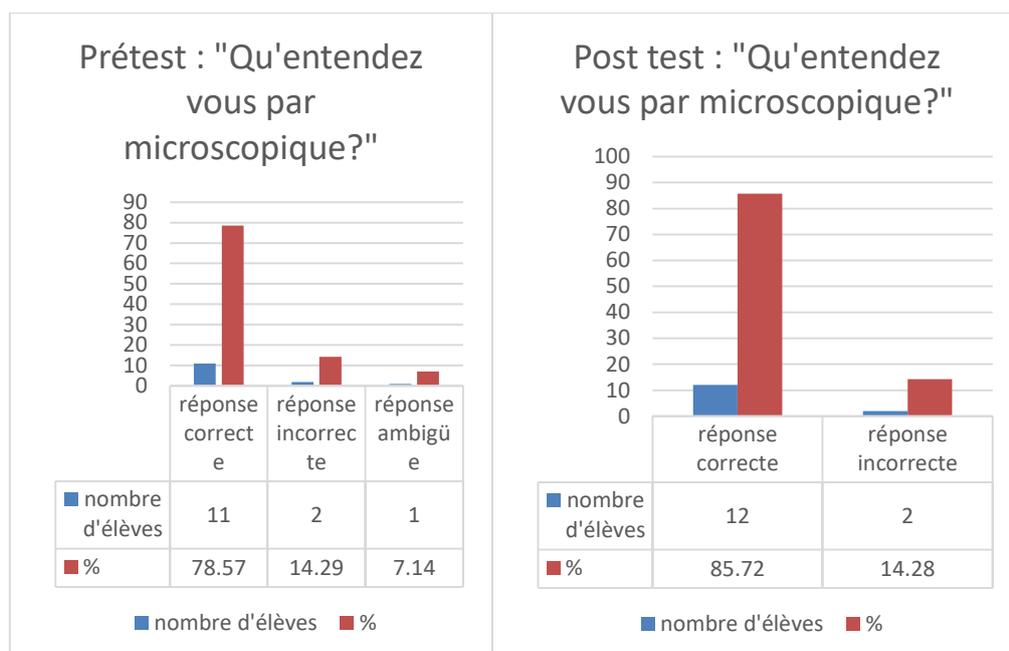
**Graphique 49 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale C théorique, concernant la deuxième question**

La comparaison (graphique 49) des analyses *a priori* et *a posteriori* indique que les élèves qui semblaient ne pas avoir de difficultés majeures au départ concernant la définition du microscopique, présentent des lacunes par la suite. Ces lacunes concernent dans la plupart des cas les réponses incorrectes et ambiguës. Pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 5,642$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} > \chi^2_{\text{seuil}}$ , il y a évolution significative de manière positive entre les appréhensions des élèves sur le microscopique donc l'hypothèse est acceptée car l'évolution est une baisse.



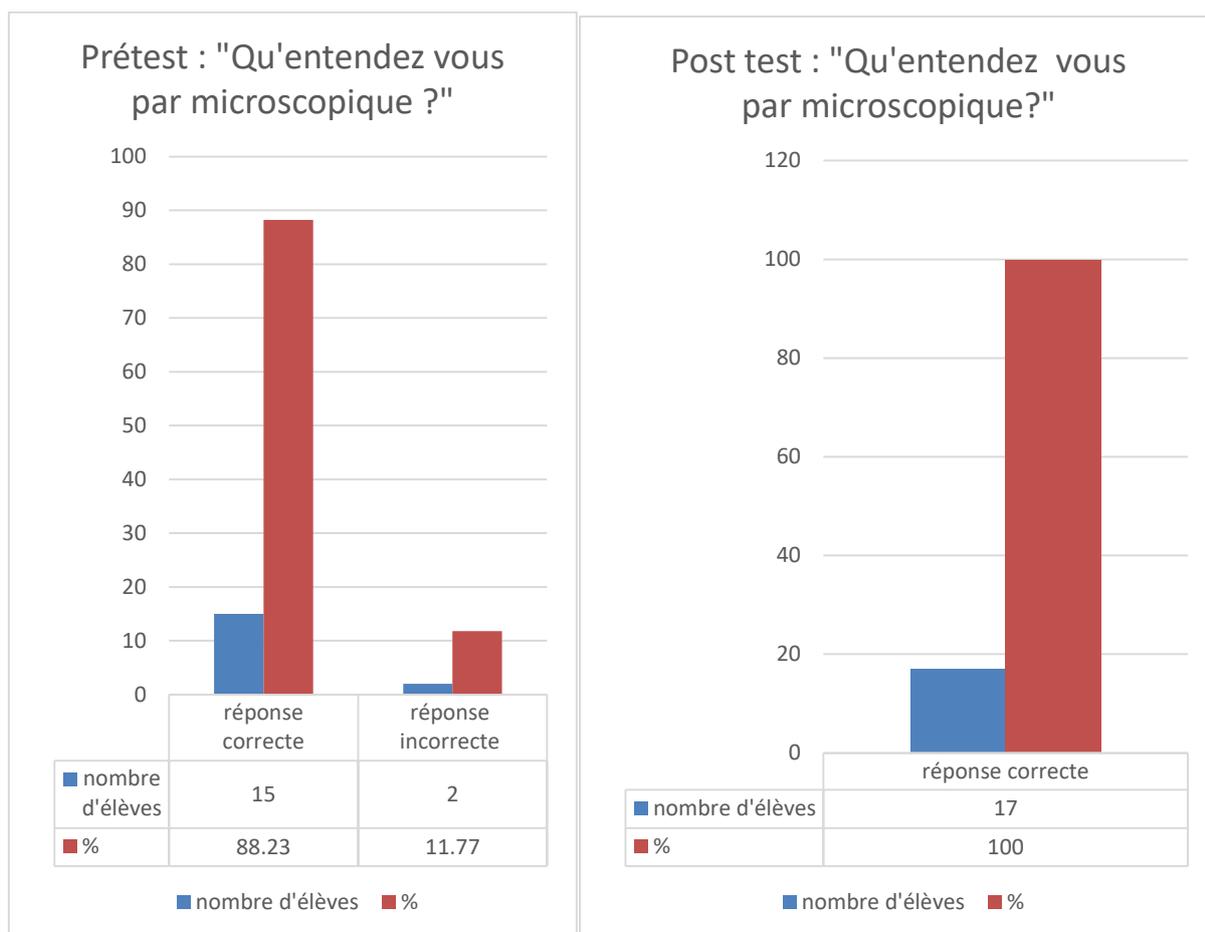
**Graphique 50 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D1 expérimentale, concernant la deuxième question**

La comparaison (graphique 50) des résultats des deux analyses en rapport aux graphiques ci-dessus montre qu'il n'y a pas d'évolution significative entre les réponses des élèves dans cette classe. Le dispositif mis en place serait sans effet sur les élèves. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0,148$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves sur le microscopique. L'hypothèse de recherche est rejetée.



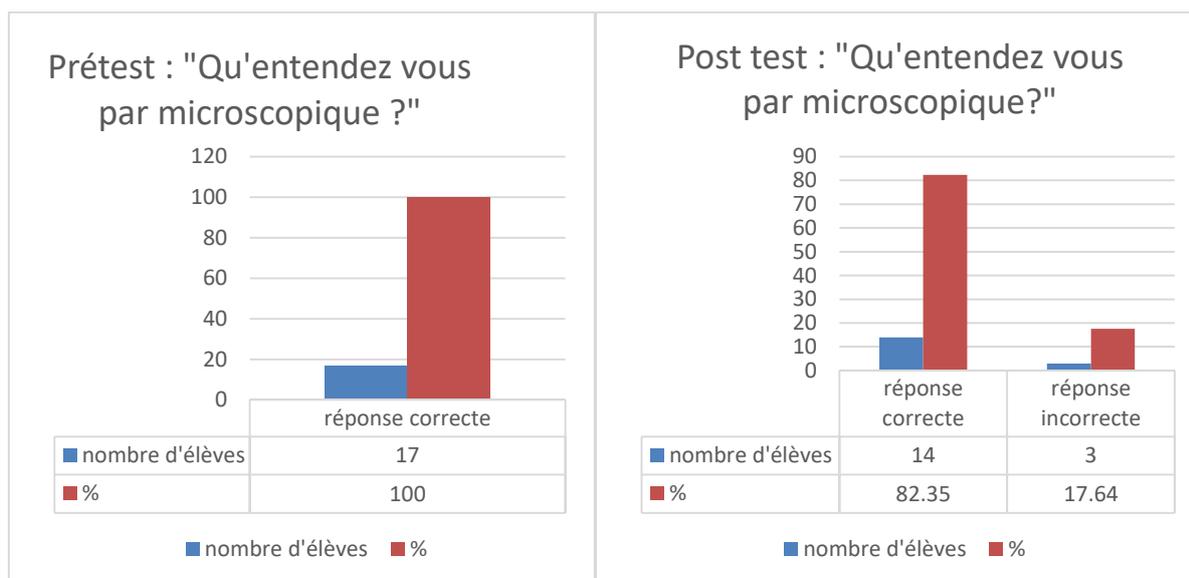
**Graphique 51 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D1 théorique, concernant la deuxième question**

D'après le graphique 51, on ne note pas d'évolution significative entre les réponses des élèves. Ce manque d'évolution signifie que ces derniers n'ont pas de souci majeur concernant l'appréhension sur le microscopique. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0,244$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves sur le microscopique. L'hypothèse de recherche est acceptée.



**Graphique 52 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D2 expérimentale, concernant la deuxième question**

D'après le graphique 52, on ne note pas d'évolution significative puisque cette question ne présente pas d'obstacle majeur chez les élèves. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 2,126$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves sur le microscopique. L'hypothèse de recherche est rejetée.



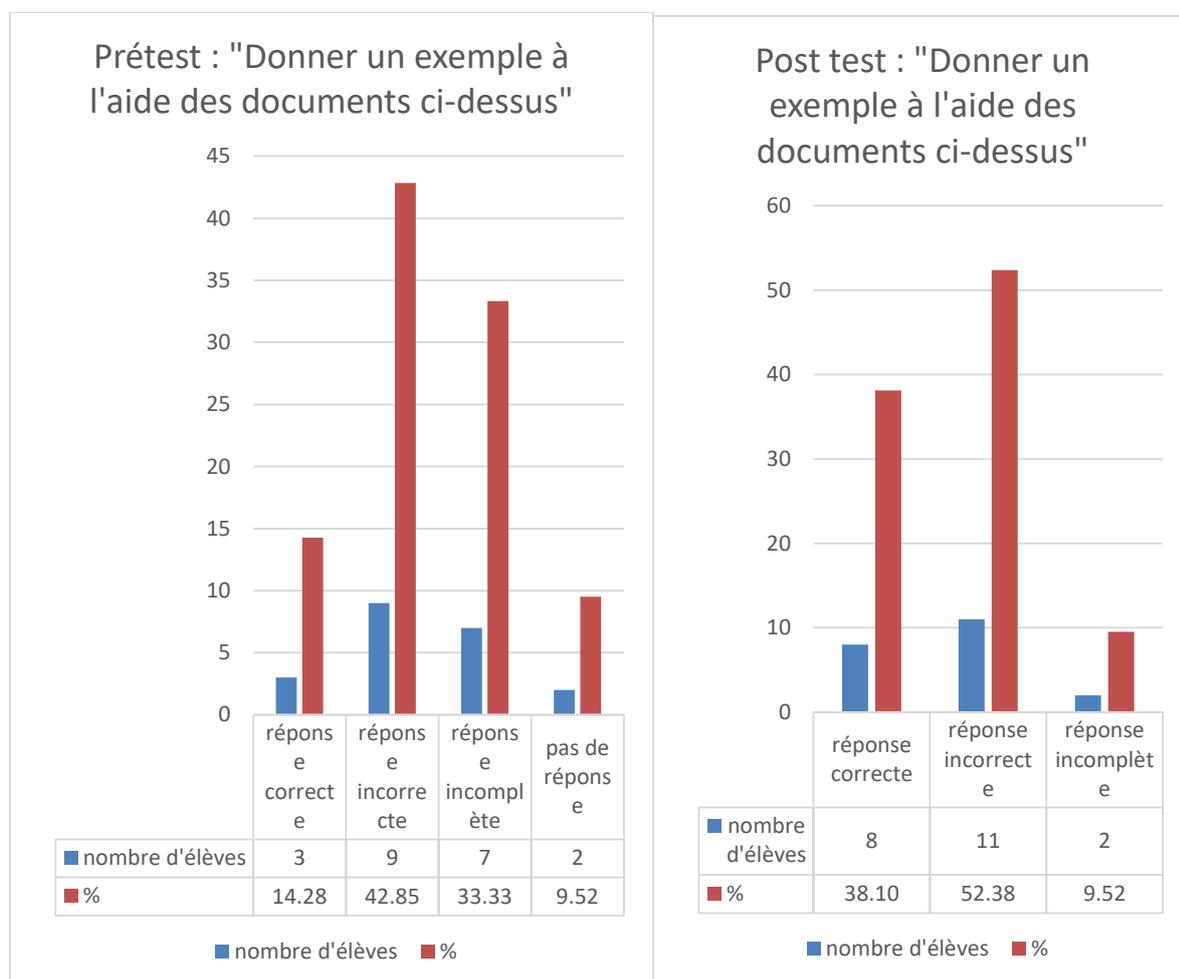
**Graphique 53 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D2 théorique, concernant la deuxième question**

Contrairement à la classe précédente où l'on a l'impression que cette question ne poserait pas de problème, la baisse du nombre de réponses correctes (graphique 53) entre le prétest et le post test semble importante bien que la proportion reste au-dessus de 80%. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 3,29$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves sur le microscopique. L'hypothèse de recherche est acceptée.

### **13-3-1 Bilan des comparaisons des analyses *a priori* et *a posteriori* concernant la deuxième question**

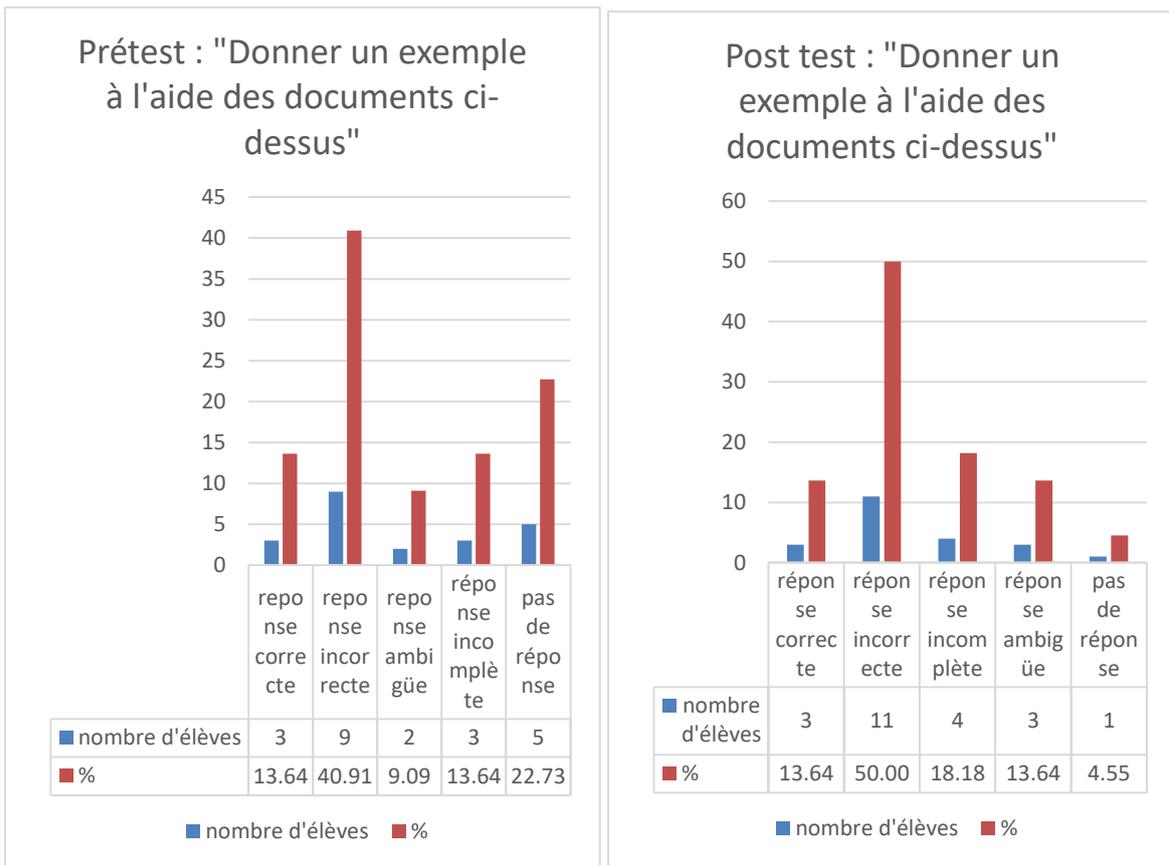
Comme souligné durant les comparaisons, cette question semble ne pas poser de soucis aux élèves dans l'ensemble des classes. Cependant on note de légères augmentations dans certaines classes (terminale C expérimentale, terminale D1 théorique, terminale D2 expérimentale) et des légères baisses dans les autres, sans pour autant permettre de valider les hypothèses dans les classes expérimentales. Cependant les hypothèses de recherches relatives à la deuxième question (les élèves des classes n'ayant pas participé à l'expérimentation n'amélioreront pas leurs appréhensions sur le microscopique) sont validées dans les trois classes théoriques. Les baisses des nombres de réponses correctes restent importantes, ce qui nécessite l'exploration de l'exemple associé pour des clarifications.

### 13-4 comparaisons des analyses *a priori* et *a posteriori* concernant l'exemple associé à la deuxième question



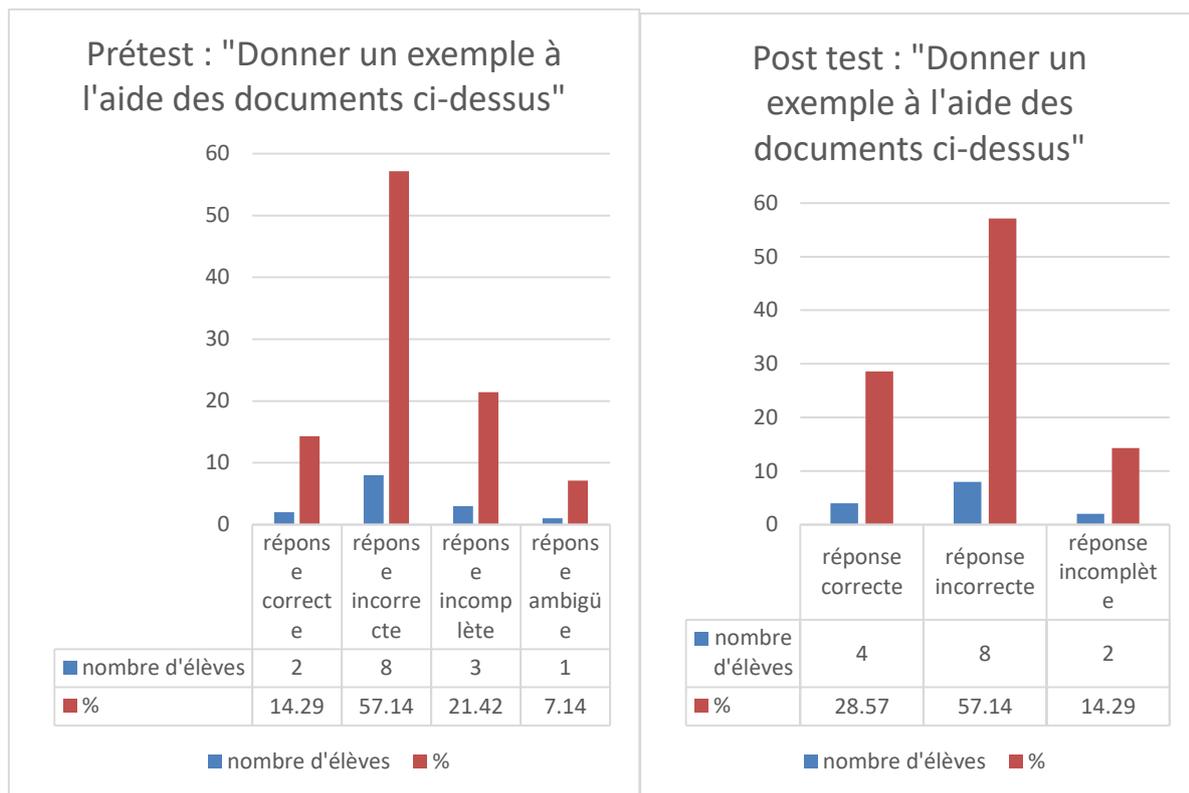
**Graphique 54 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale C expérimentale, concernant l'exemple associé à la deuxième question**

Si la question précédente semble ne pas poser de problème, ce n'est pas le cas pour cette question. En effet, la comparaison (graphique 54) des analyses *a priori* et *a posteriori* montre qu'il y a une évolution concernant l'exemple associé au microscopique. La proportion des réponses correctes varie de 14,28% à 38,10 %. Cette évolution ne permet pas de valider les hypothèses de recherches. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 3,078$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant l'exemple associé au microscopique. L'hypothèse de recherche est rejetée.



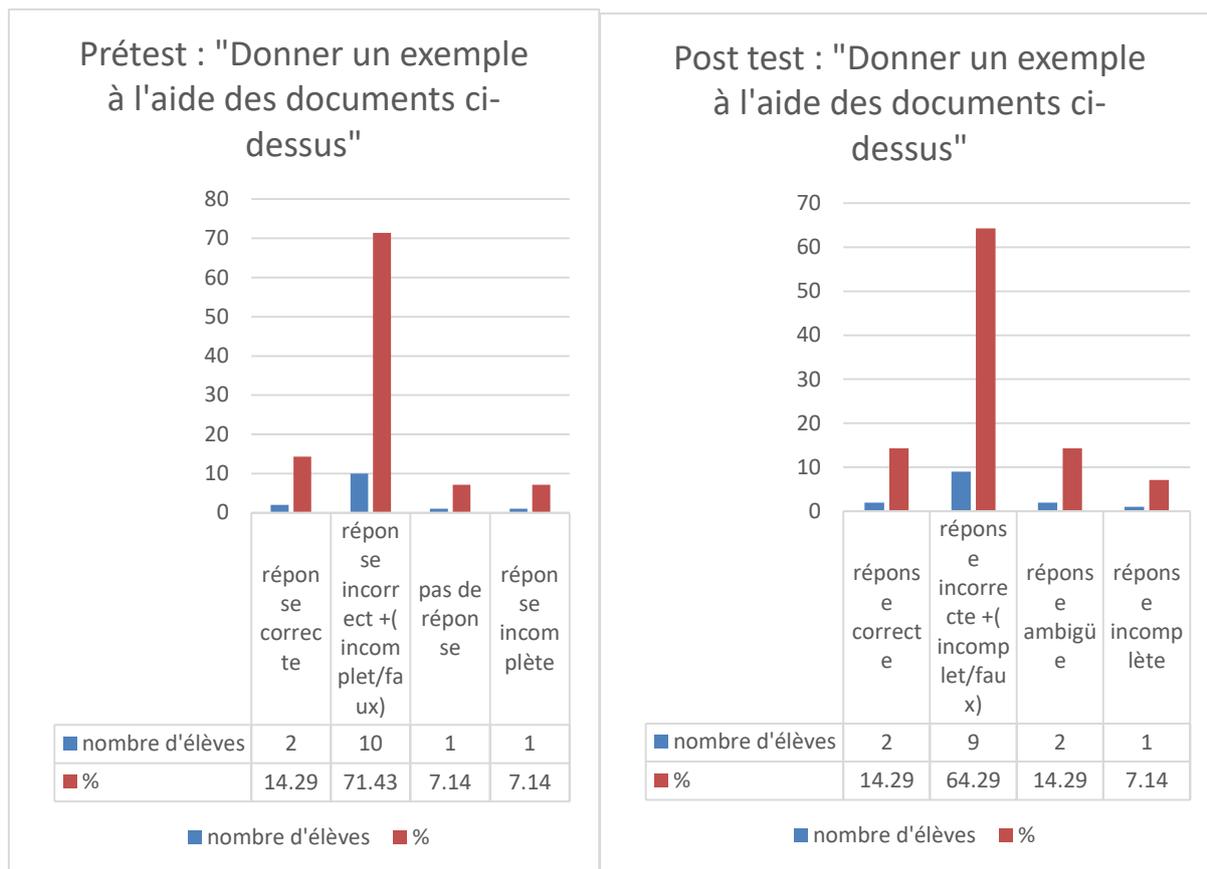
**Graphique 55 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale C théorique, concernant l'exemple associé à la deuxième question**

Pour cette classe, la comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* montre qu'il n'y a pas d'évolution entre la proportion des réponses correctes du prétest et celles du post test (graphique 55). Cette absence d'évolution signifie que les élèves ne sont pas en mesure de justifier leurs réponses précédentes, d'où l'existence d'une difficulté. De plus, ils ne participent pas à l'expérimentation. Par ailleurs, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant l'exemple associé au microscopique, d'où l'hypothèse de recherche est acceptée.



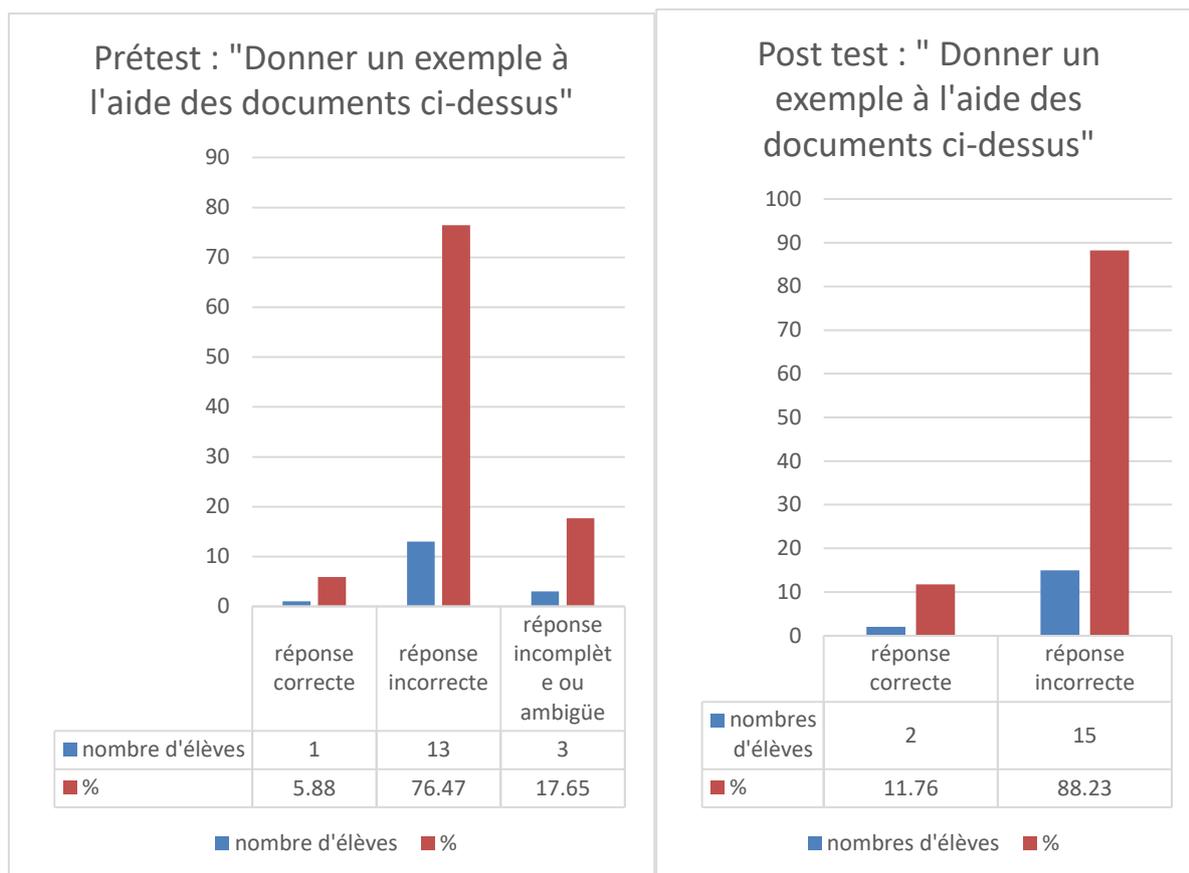
**Graphique 56 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D1 expérimentale, concernant l'exemple associé à la deuxième question**

D'après le graphique 56, il n'y a pas d'évolution significative entre les proportions des réponses correctes et incorrectes. Bien que la proportion de réponses correctes passe de 14,29% à 28,57%, cette évolution n'est pas suffisante pour affirmer que les élèves sont sans difficultés. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0,848$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant l'exemple associé au microscopique. L'hypothèse de recherche est rejetée : l'ingénierie didactique mise en place serait sans effet sur leur appréhension liée à l'exemple du microscopique.



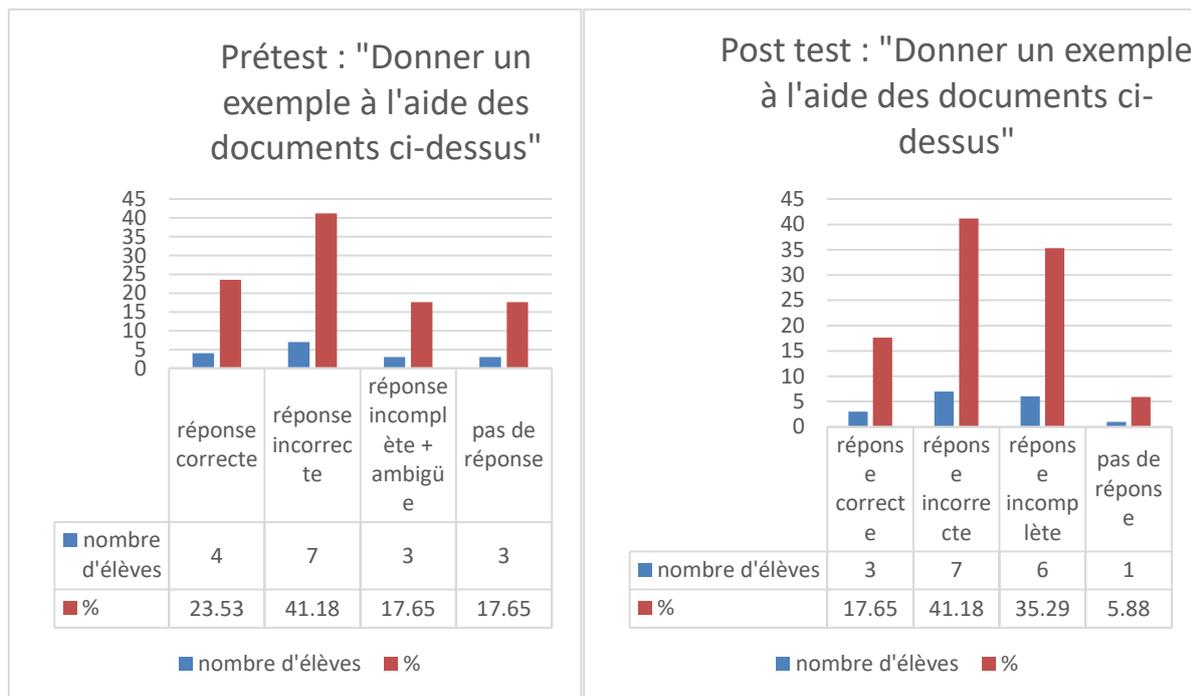
**Graphique 57 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D1 théorique, concernant l'exemple associé à la deuxième question**

On s'attendait à une absence d'évolution entre la proportion des réponses correctes, c'est le cas dans cette classe (graphique 57) puisque les élèves n'ont pas participé aux travaux pratiques mis en place : d'où la persistance de difficultés. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant l'exemple associé au microscopique.



**Graphique 58 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D2 expérimentale, concernant l'exemple associé à la deuxième question**

Grâce à l'ingénierie mise en place, on s'attendait à une évolution significative des conceptions des élèves, ce n'est pas le cas dans cette classe (graphique 58). En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0,366$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant l'exemple associé au microscopique. Ce qui témoigne de l'existence de difficultés persistantes chez les élèves au niveau microscopique. L'hypothèse de recherche est rejetée.



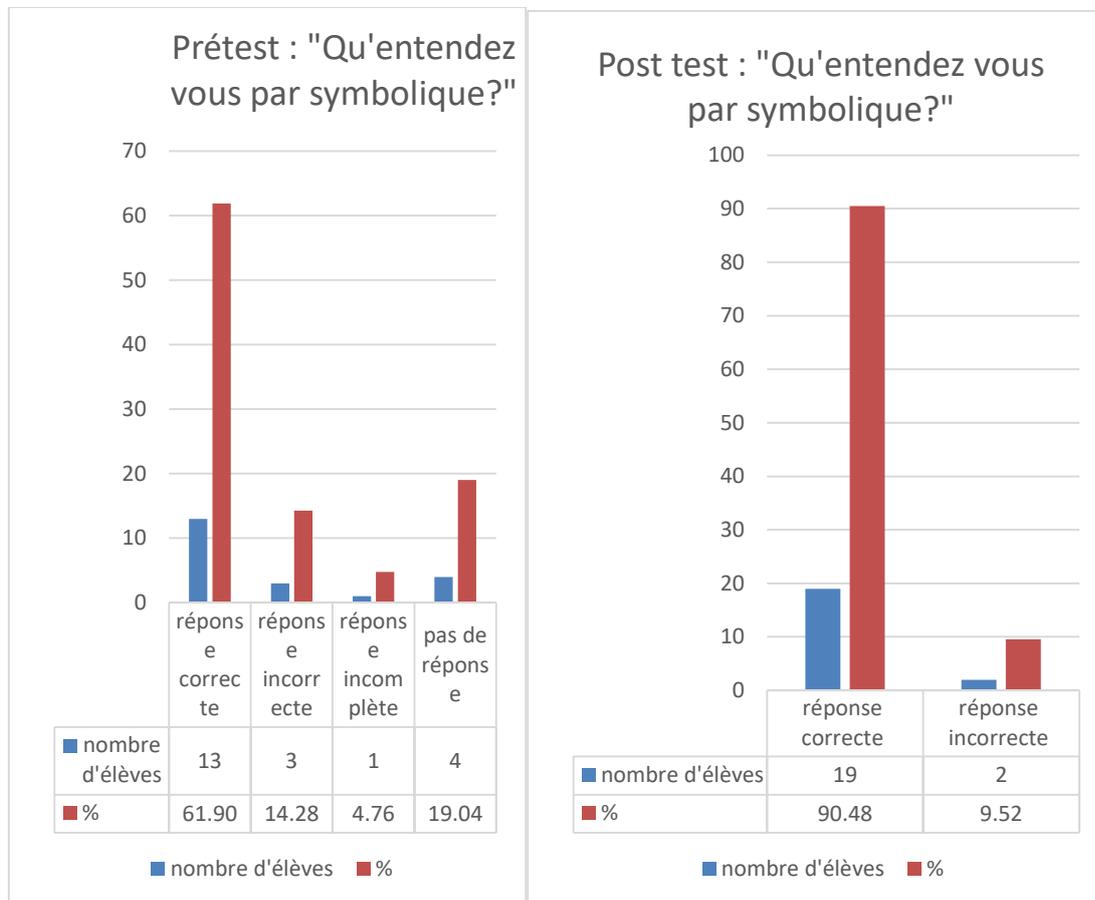
**Graphique 59 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D2 théorique, concernant l'exemple associé à la deuxième question**

Le graphique 59 montre qu'il n'y a pas de différence significative entre le prétest et le post test. Ces résultats correspondent parfaitement à nos attentes puisque ces derniers n'ont pas réalisé l'expérimentation. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0,18$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant l'exemple associé au microscopique. Donc l'hypothèse de recherche est acceptée. Ces différentes comparaisons nous conduit au bilan ci-après.

### **13-4-1 Bilan des comparaisons des analyses *a priori* et *a posteriori* concernant l'exemple associé à la deuxième question**

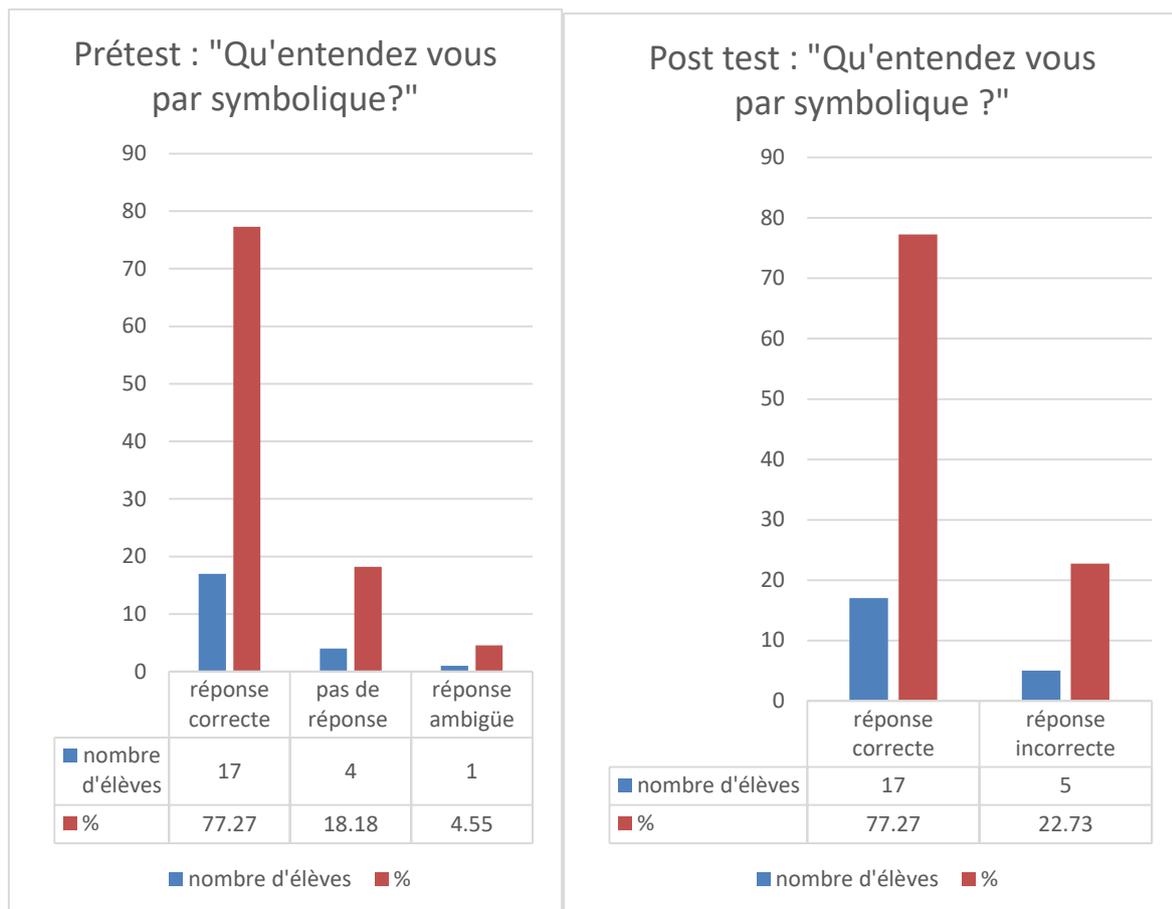
L'exemple associé au microscopique permet de faire certaines clarifications. En effet, il n'y a aucune évolution significative des conceptions des élèves relativement à l'exemple associé au microscopique, l'hypothèse de recherche est acceptée dans les classes théoriques et rejetée dans les classes expérimentales. Regardons la comparaison des analyses liées au niveau symbolique.

### 13-5 Comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* concernant les appréhensions des élèves sur le symbolique



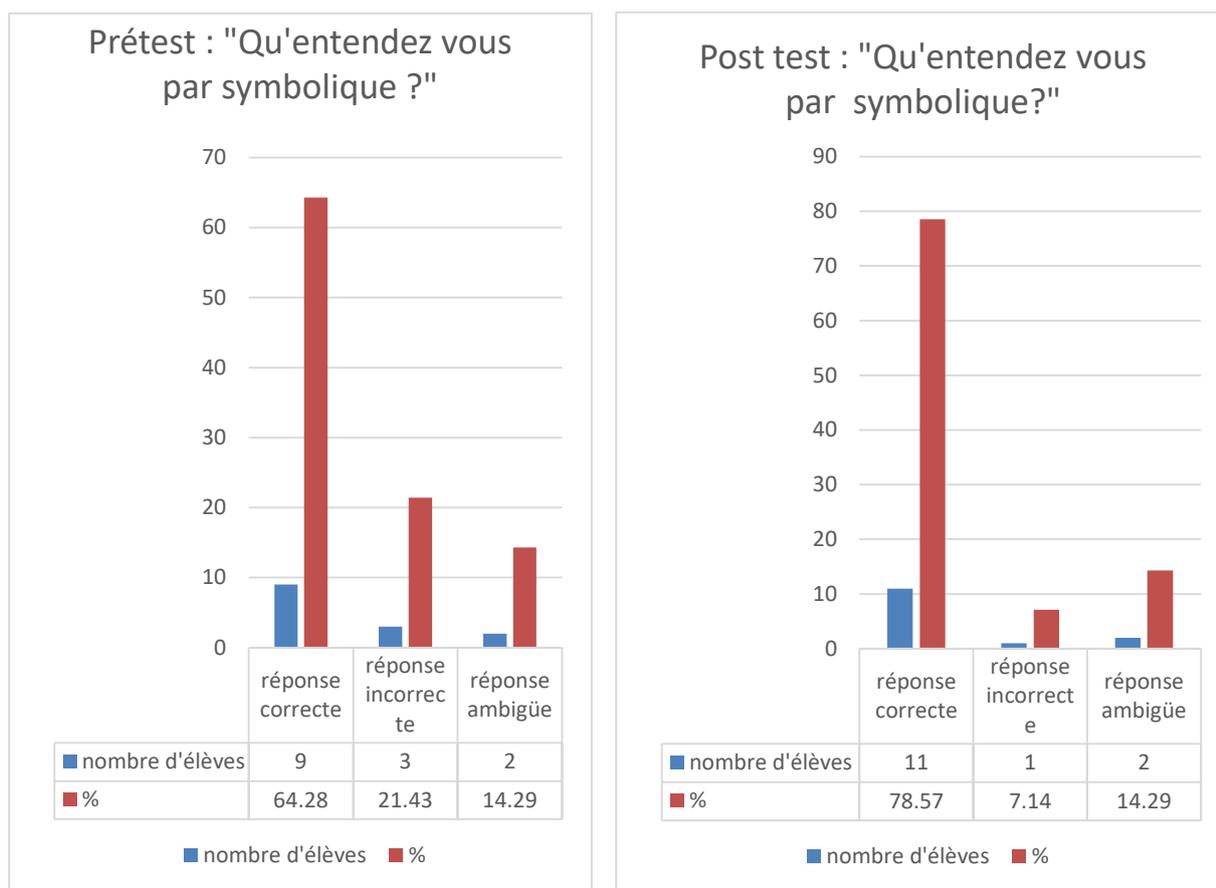
**Graphique 60 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale C expérimentale, concernant l'appréhension des élèves sur le symbolique**

D'après le graphique 60, on note une évolution significative des réponses des élèves entre le prétest et le post test. En effet, la proportion des réponses correctes augmente. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 4,726$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} > \chi^2_{\text{seuil}}$ , il y a une évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant l'exemple associé au symbolique. L'hypothèse de recherche est acceptée.



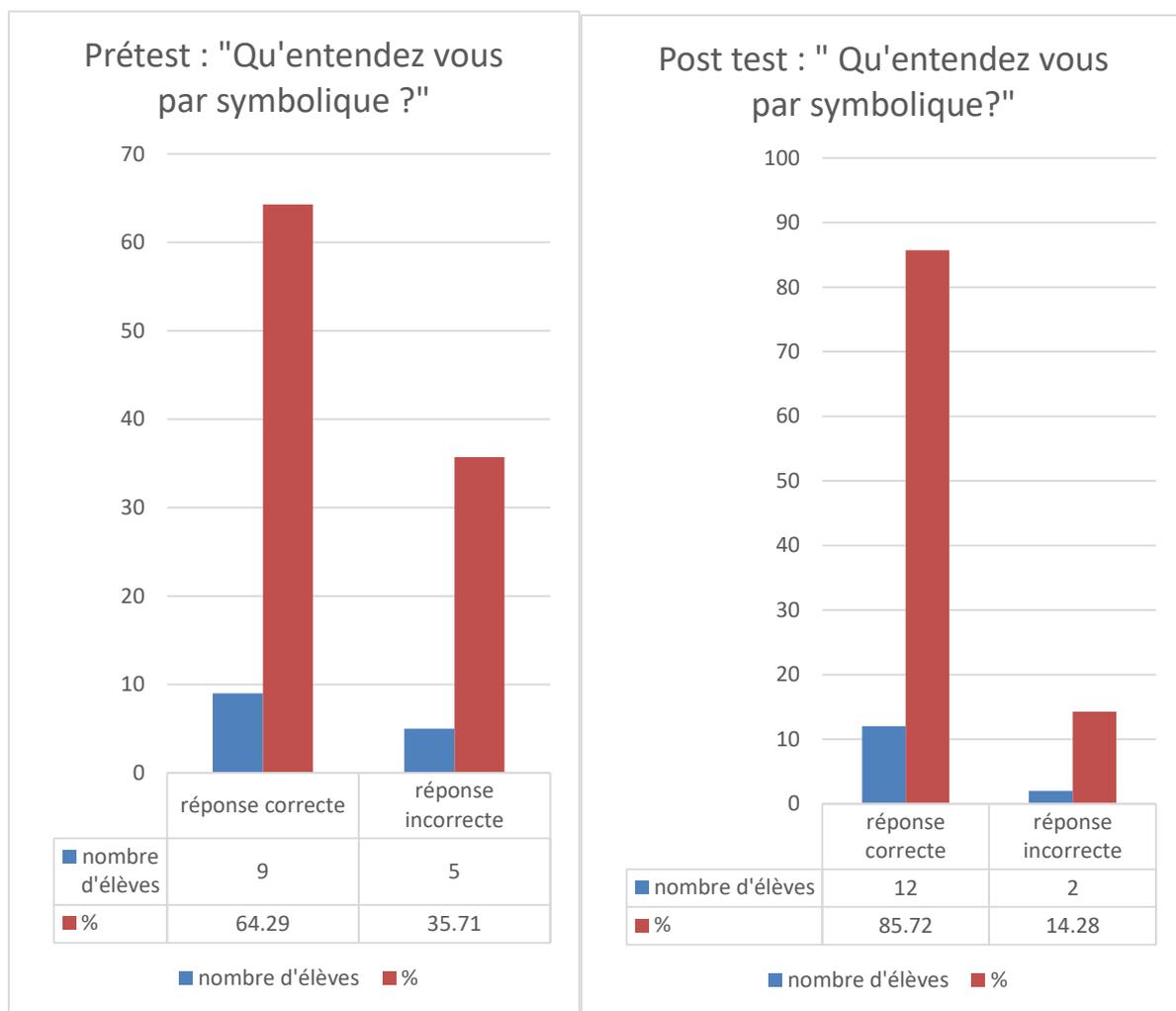
**Graphique 61 : Rappel des résultats des *analyses a priori* et *a posteriori* en classe de terminale C théorique, concernant l'appréhension des élèves sur le symbolique**

La comparaison des analyses (graphique 61) *a priori* et *a posteriori* montre qu'il n'y a pas d'évolution des réponses des élèves. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant le symbolique. L'hypothèse de recherche est acceptée.



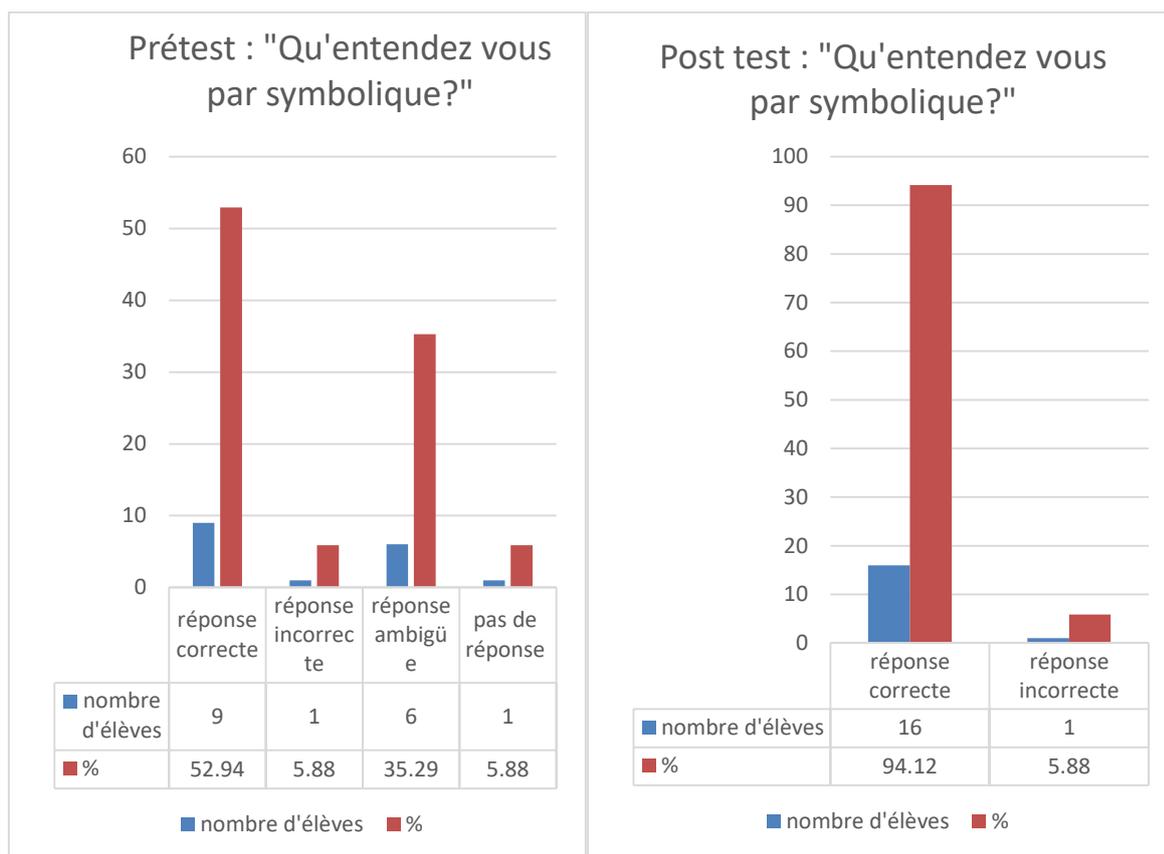
**Graphique 62 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D1 expérimentale concernant l’appréhension des élèves sur le symbolique**

D’après le graphique 62 pour la classe de terminale D1 expérimentale, la proportion des réponses correctes permet de montrer que 35,72% des élèves de cette classe rencontrent des difficultés majeures au départ. En effet, la proportion de réponses correctes augmente juste de 14,29%. Cette augmentation n’est pas significative puisqu’une partie des élèves ayant participé au test donne toujours des réponses incorrectes. De plus, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0,7$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n’y a pas d’évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant le symbolique. L’hypothèse de recherche est rejetée.



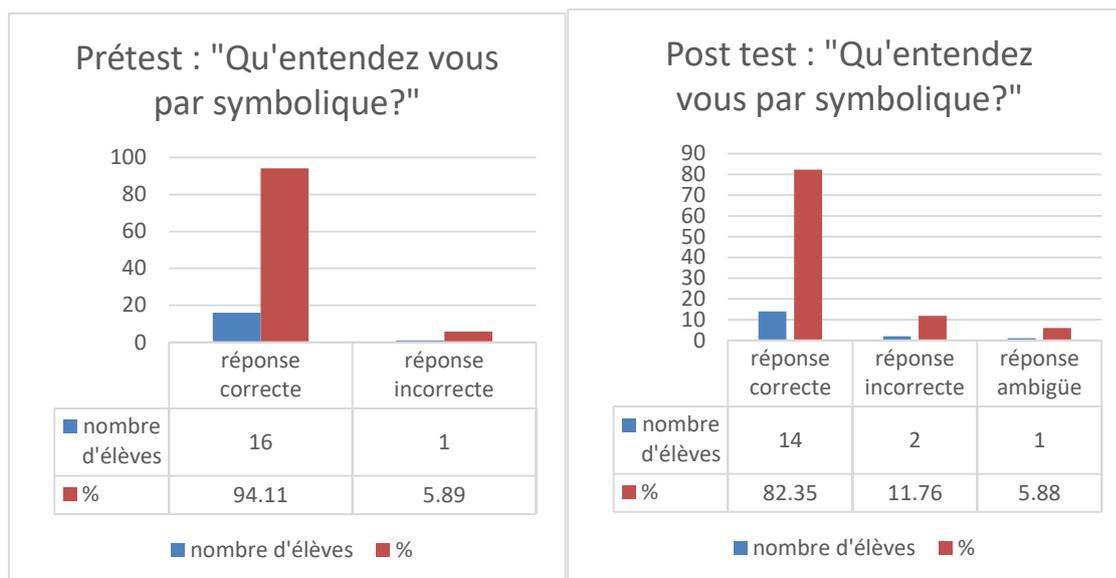
**Graphique 63 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D1 théorique concernant l’appréhension des élèves sur le symbolique**

D’après le graphique 63, on note une évolution de 21,43%, entre le prétest et le post test, ce qui semble remettre en cause l’hypothèse de recherche. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 1,714$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n’y a pas d’évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant le symbolique. Cette hypothèse de recherche est acceptée.



**Graphique 64 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D2 expérimentale concernant l’appréhension des élèves sur le symbolique**

La comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* (graphique 64) montre qu’il y a une évolution significative entre les réponses des élèves. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 7,404$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} > \chi^2_{\text{seuil}}$ , il y a une évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant le symbolique. Ce qui permet de valider l’hypothèse de recherche concernant impact du dispositif mis en place sur l’évolution des conceptions des élèves.



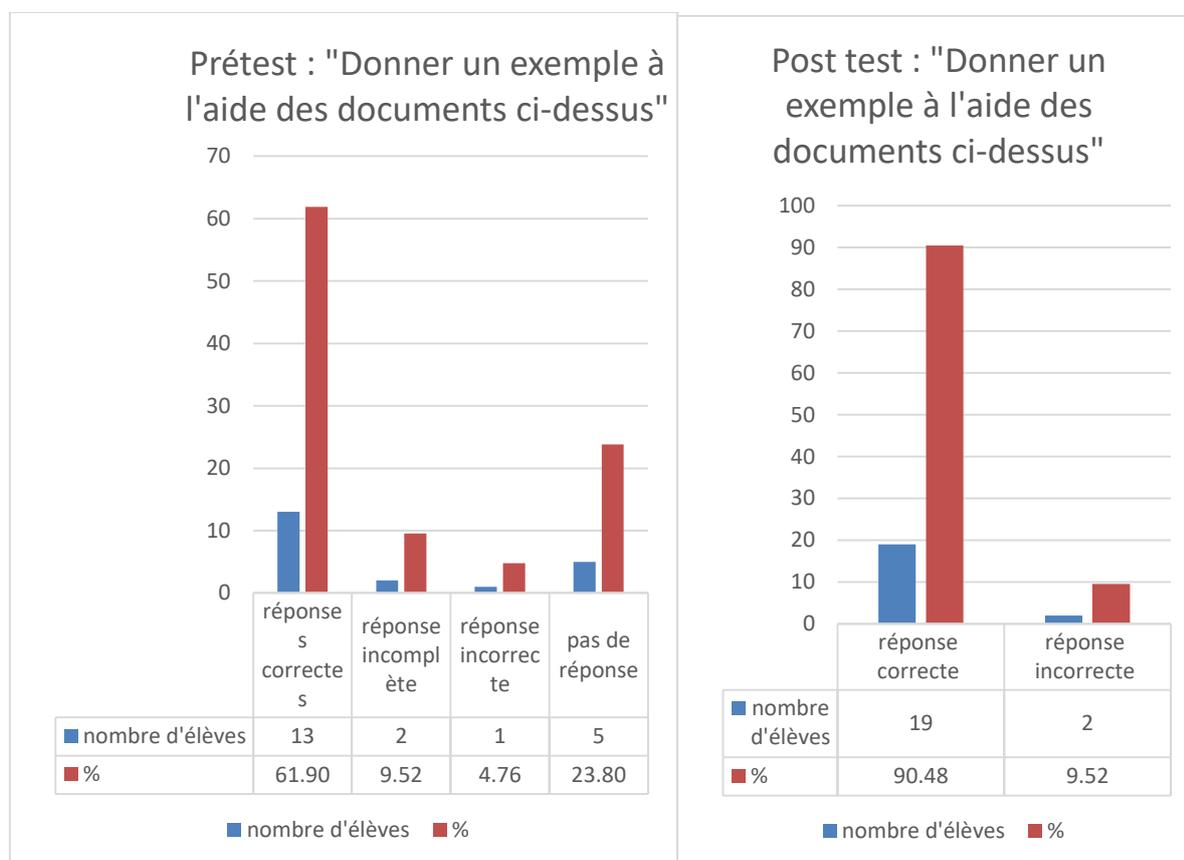
**Graphique 65: Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D2 théorique concernant l'appréhension des élèves sur le symbolique**

La comparaison (graphique 65) des analyses *a priori* et *a posteriori* pour la troisième question en classe de terminale D2 théorique montre qu'il y a une variation du nombre de réponses correctes concernant cette question, car la proportion des réponses correctes baisse d'environ 12%. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 1,134$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant le symbolique. Donc l'hypothèse de recherche est acceptée.

### **13-5-1 Bilan des comparaisons des analyses *a priori* et *a posteriori* de la troisième question**

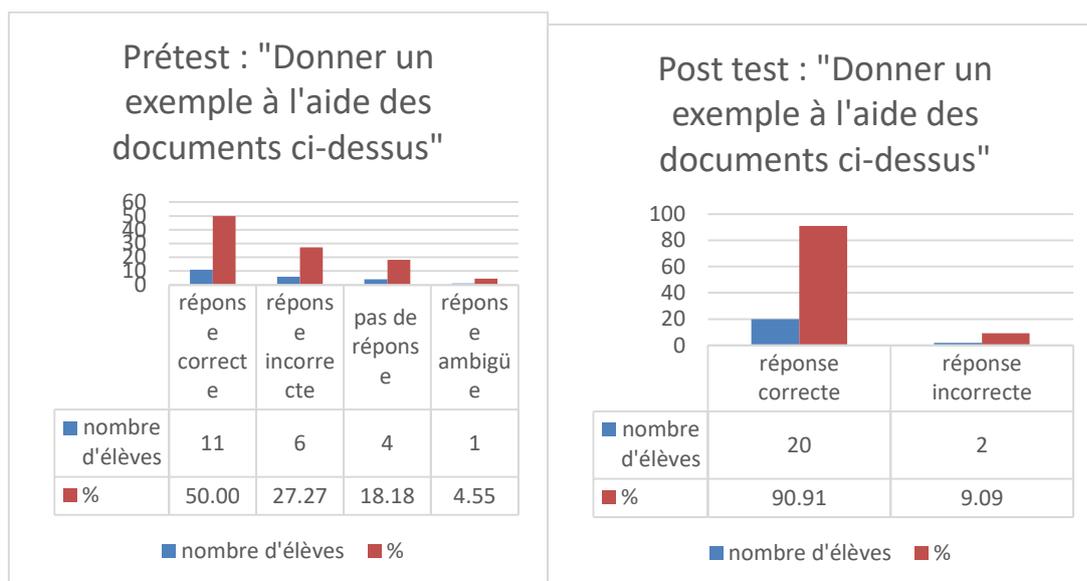
Les résultats sont significatifs dans toutes les classes sauf la terminale D1 expérimentale. Donc l'hypothèse de recherche est validée en classe de terminale C expérimentale D2 expérimentale et dans les classes théoriques. Enfin, l'exemple associé pourrait davantage confirmer les hypothèses précédemment validées.

### 13-6 Comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* de l'exemple associé à la troisième question



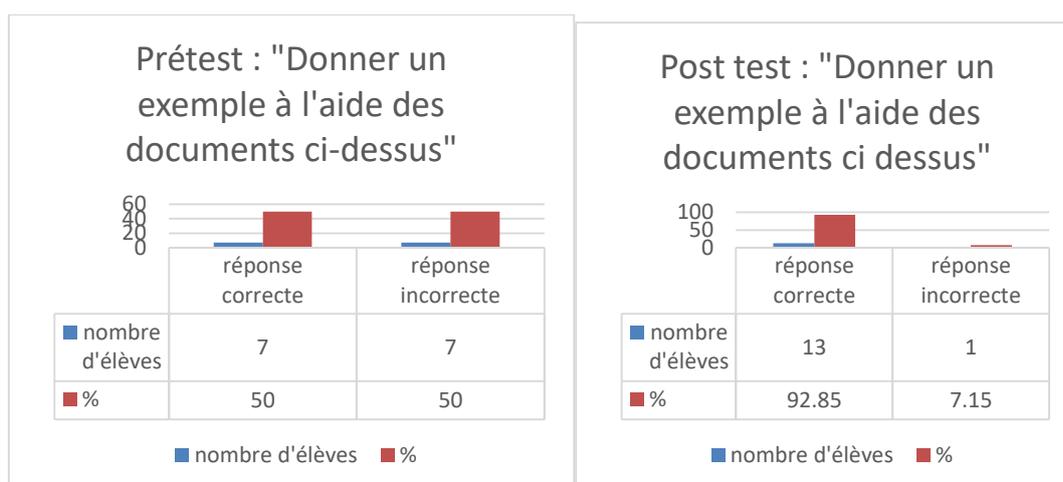
**Graphique 66 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale C expérimentale concernant l'appréhension des élèves sur l'exemple associé au symbolique**

La comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* (graphique 66) montre qu'il existe une évolution dans les appréhensions des élèves concernant l'exemple associé au niveau symbolique. En effet, entre les deux tests réalisés, en ce qui concerne la proportion des réponses correctes, elle passe de 61,90% à 90,48%. Pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 4,726$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} > \chi^2_{\text{seuil}}$ , il y a une évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant le symbolique. D'où l'hypothèse de recherche est acceptée.



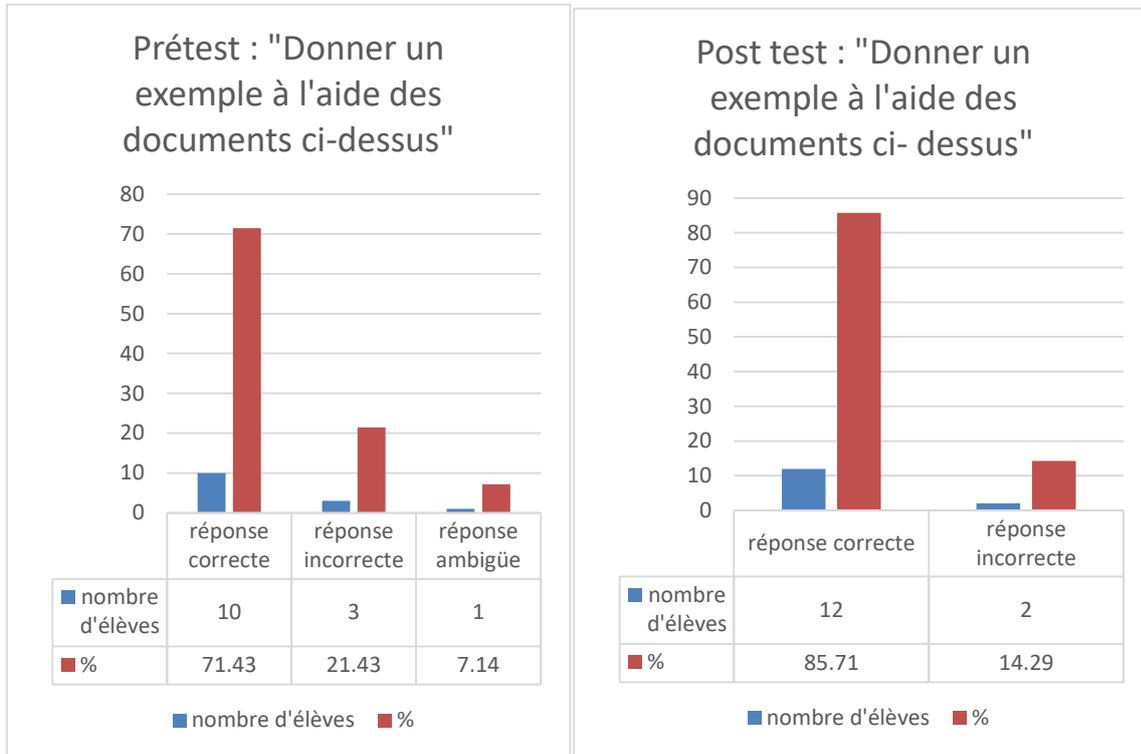
**Graphique 67 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale C théorique concernant l'appréhension des élèves sur l'exemple associé au symbolique**

Lorsqu'on compare les deux analyses (graphique 67), on se rend compte qu'il y a une évolution significative entre les appréhensions des élèves. Soit une évolution de 40,91%. Cette évolution remet en cause l'hypothèse de recherche puisque les élèves de la classe de terminale C théorique ne réalisent pas d'expérience. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 8,842$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} > \chi^2_{\text{seuil}}$ , il y a une évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant le symbolique. Cette évolution reste difficile à expliquer.



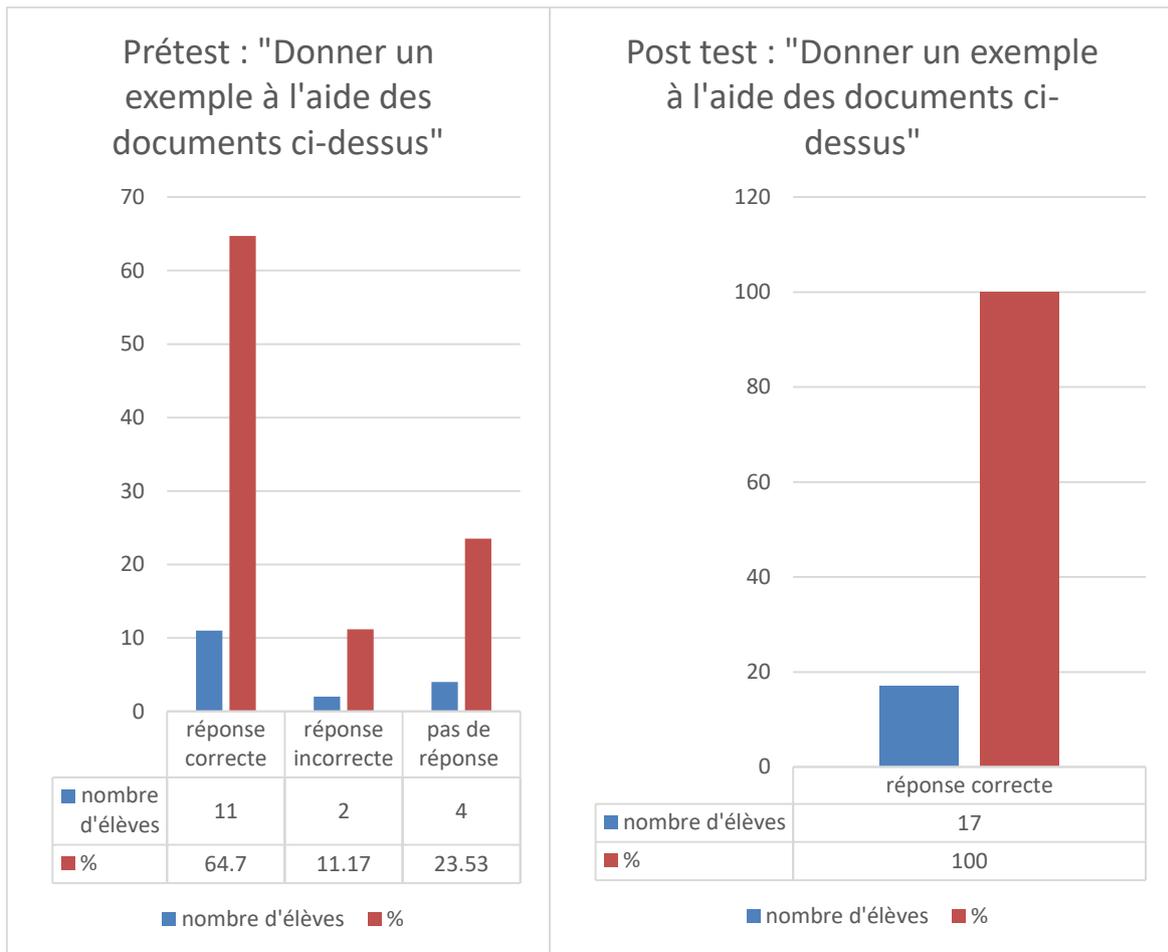
**Graphique 68 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D1 expérimentale concernant l'appréhension des élèves sur l'exemple associé au symbolique**

Lorsqu'on compare les analyses *a priori* et *a posteriori* (graphique 68), on se rend compte qu'il y a une évolution significative entre le prétest et le post test. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 6,3$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme  $\chi^2_{\text{calculé}} > \chi^2_{\text{seuil}}$ , il y a une évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant le symbolique, d'où la validation de l'hypothèse de recherche.



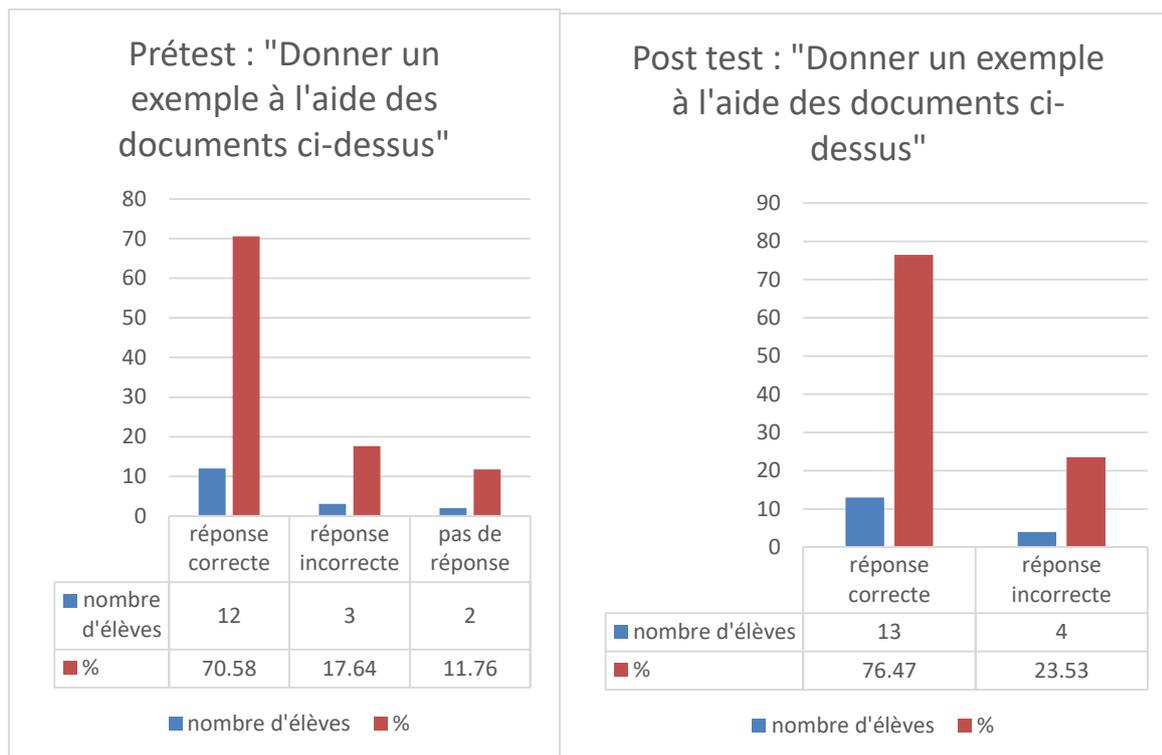
**Graphique 69 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D1 théorique concernant l'appréhension des élèves sur l'exemple associé au symbolique**

D'après le graphique 69, la question pose des soucis à 29,57% des élèves puisque la proportion des réponses correctes reste au-dessus de 71,43% au prétest. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0,848$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant le symbolique, d'où la validation de l'hypothèse de recherche.



**Graphique 70 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D2 expérimentale concernant l'appréhension des élèves sur l'exemple associé au symbolique**

Lorsqu'on compare les analyses (graphique 70) *a priori* et *a posteriori*, on se rend compte qu'il existe une évolution significative entre les proportions des élèves. La proportion des réponses correctes augmente de 35,3%. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 7,286$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme  $\chi^2_{\text{calculé}} > \chi^2_{\text{seuil}}$ , il y a une évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant le symbolique, d'où la validation de l'hypothèse de recherche.



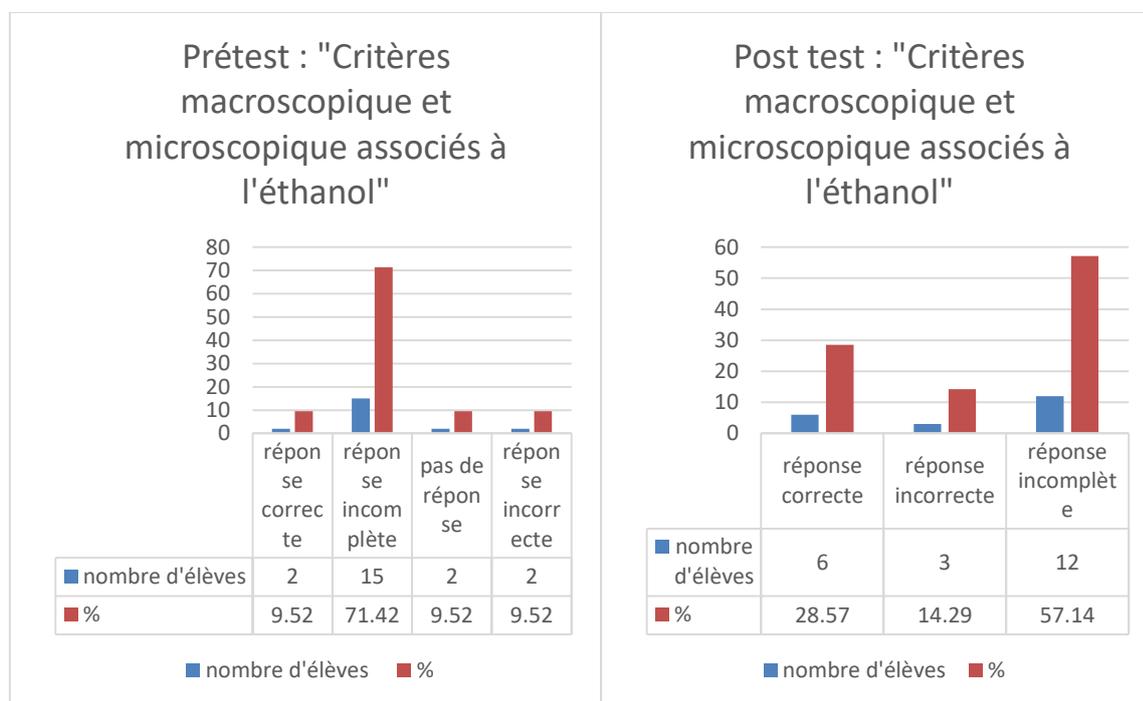
**Graphique 71 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D2 théorique concernant l’appréhension des élèves sur l’exemple associé au symbolique**

D’après le graphique 71, lorsqu’on compare les analyses *a priori* et *a posteriori*, on ne note pas d’évolution significative entre les proportions des réponses correctes. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0,152$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n’y a pas d’évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant le symbolique, d’où la validation de l’hypothèse de recherche.

### **13-6-1 Bilan des comparaisons des analyses *a priori* et *a posteriori* concernant l’exemple associé à la troisième question**

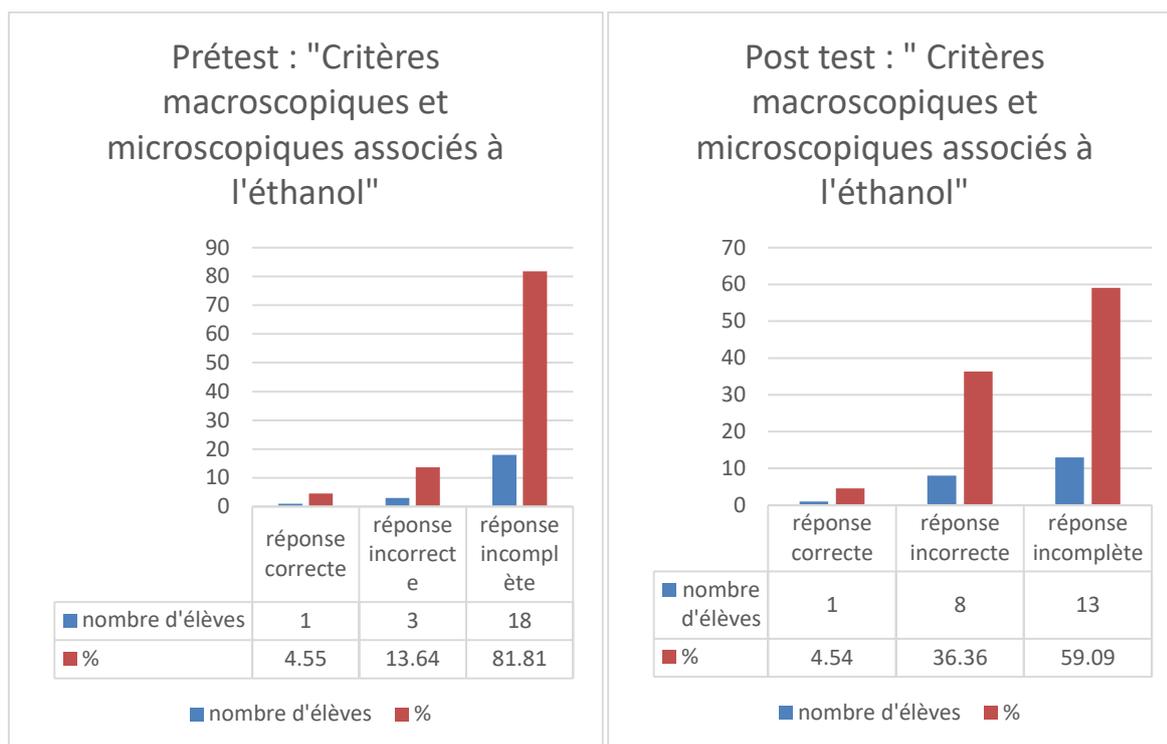
Les hypothèses de recherches sont acceptées en classe de terminale C expérimentale, D1 et D2 expérimentale et théorique. L’hypothèse de recherche est rejetée en classe de terminale C théorique. En effet, on s’attendait à une absence de différence significative dans les résultats des élèves de cette classe, ce qui n’est pas le cas : cela reste difficile à expliquer. Peut-être que le symbolique a été plus travaillé par ailleurs dans cette classe.

### 13-7 Comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* concernant la quatrième question



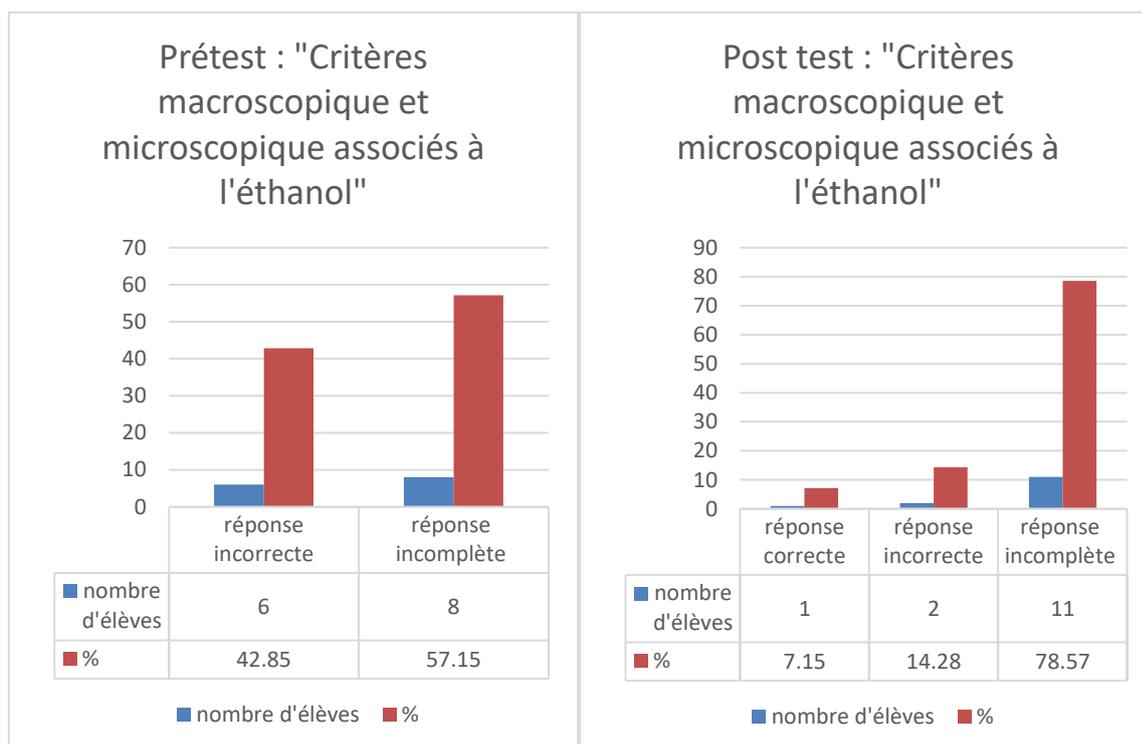
**Graphique 72 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale C expérimentale concernant la quatrième question**

Lorsqu'on compare les analyses (graphique 72), on note une évolution non significative entre les réponses des élèves ce qui permet de réfuter l'hypothèse selon laquelle le dispositif mis en place dans les classes expérimentales améliorerait la circulation entre les niveaux de savoir. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 2,47$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant les critères macroscopique et microscopique associés à l'éthanol, d'où l'hypothèse de recherche est rejetée.



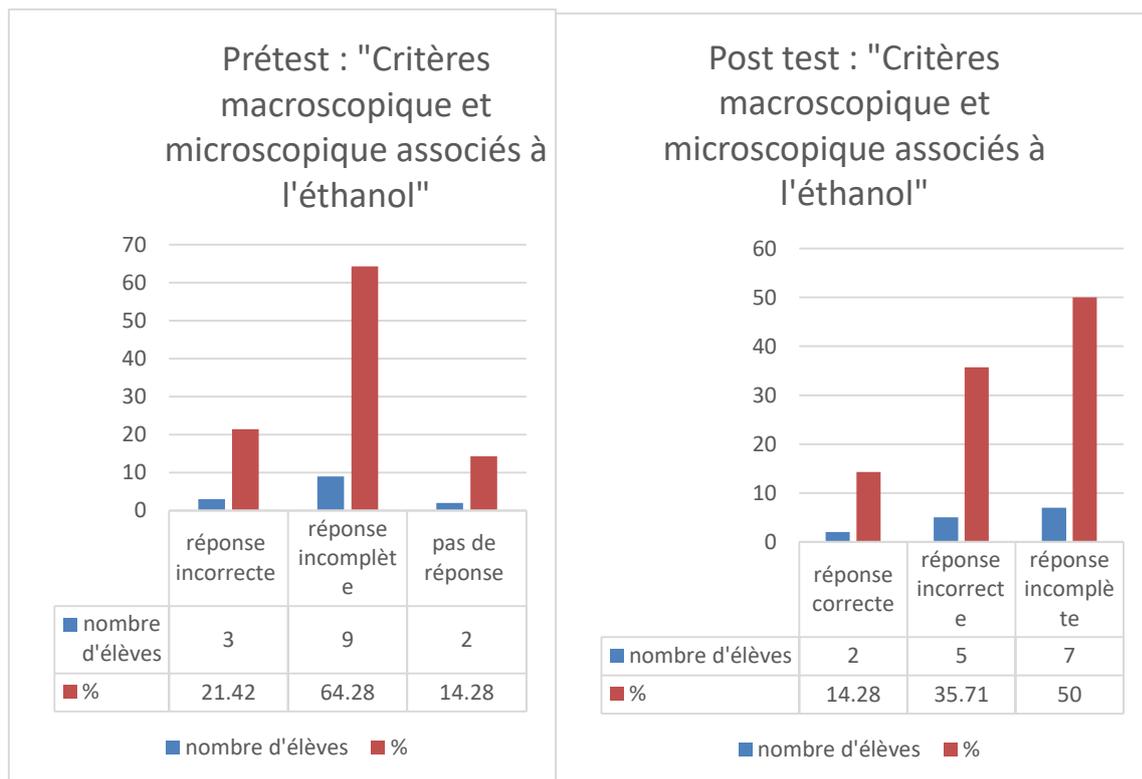
**Graphique 73 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale C théorique concernant la quatrième question**

La comparaison des analyses (graphique 73), *a priori* et *a posteriori* montre que l'hypothèse est acceptée en classe de terminale C théorique puisqu'il n'y a pas d'évolution entre les proportions des réponses correctes. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ .



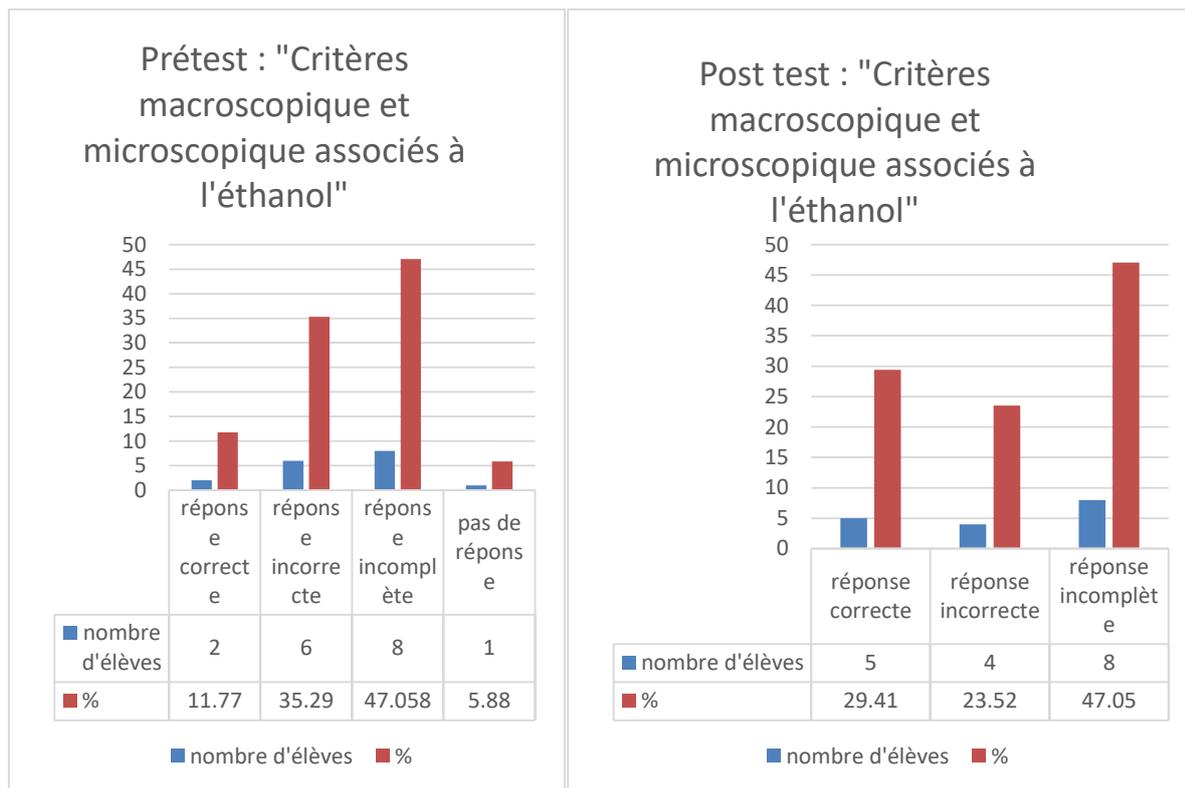
**Graphique 74 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D1 expérimentale concernant la quatrième question**

D'après le graphique 74, l'hypothèse de recherche est rejetée puisqu'on ne note pas d'évolution significative des réponses correctes entre le prétest et le post test. Le dispositif mis en place ne permet pas aux élèves d'associer les critères macroscopique et microscopique à l'éthanol. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 1,038$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant les critères macroscopiques et microscopiques associés à l'éthanol.



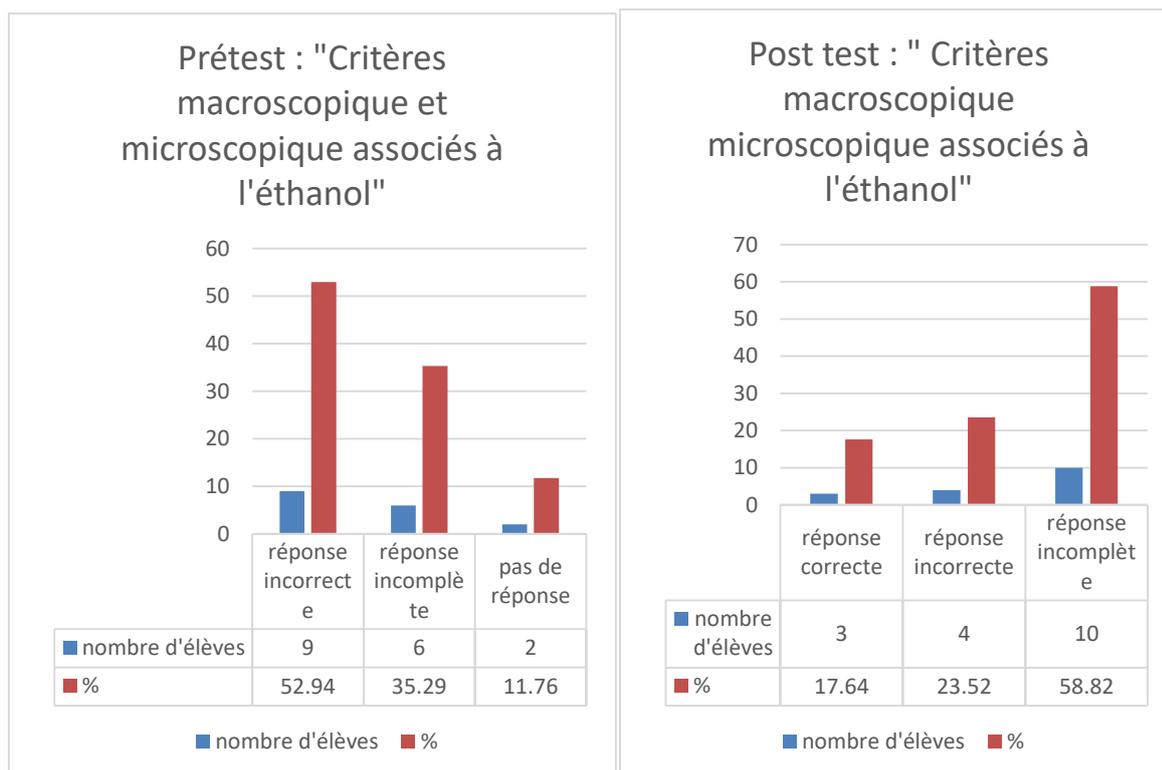
**Graphique 75 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D1 théorique concernant la quatrième question**

D'après le graphique 75, on n'observe pas d'évolution entre les appréhensions des élèves. Cette absence d'évolution confirme davantage l'hypothèse selon laquelle le dispositif d'expérimentation améliorerait la circulation entre les niveaux de savoirs. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 2,154$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant les critères macroscopique et microscopique associés à l'éthanol, d'où la validation de l'hypothèse de recherche.



**Graphique 76 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D2 expérimentale concernant la quatrième question**

Lorsqu'on compare les analyses *a priori* et *a posteriori*, on se rend compte que le nombre de réponses correctes augmente (graphique 76). Cette augmentation de réponse est de 17,64%. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 1,62$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant les critères macroscopique et microscopique associés à l'éthanol, d'où le rejet de l'hypothèse de recherche. Le dispositif mis en place a légèrement produit des effets. Les effets produits ne sont pas suffisants pour valider les hypothèses de recherche.



**Graphique 77 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D2 théorique concernant la quatrième question**

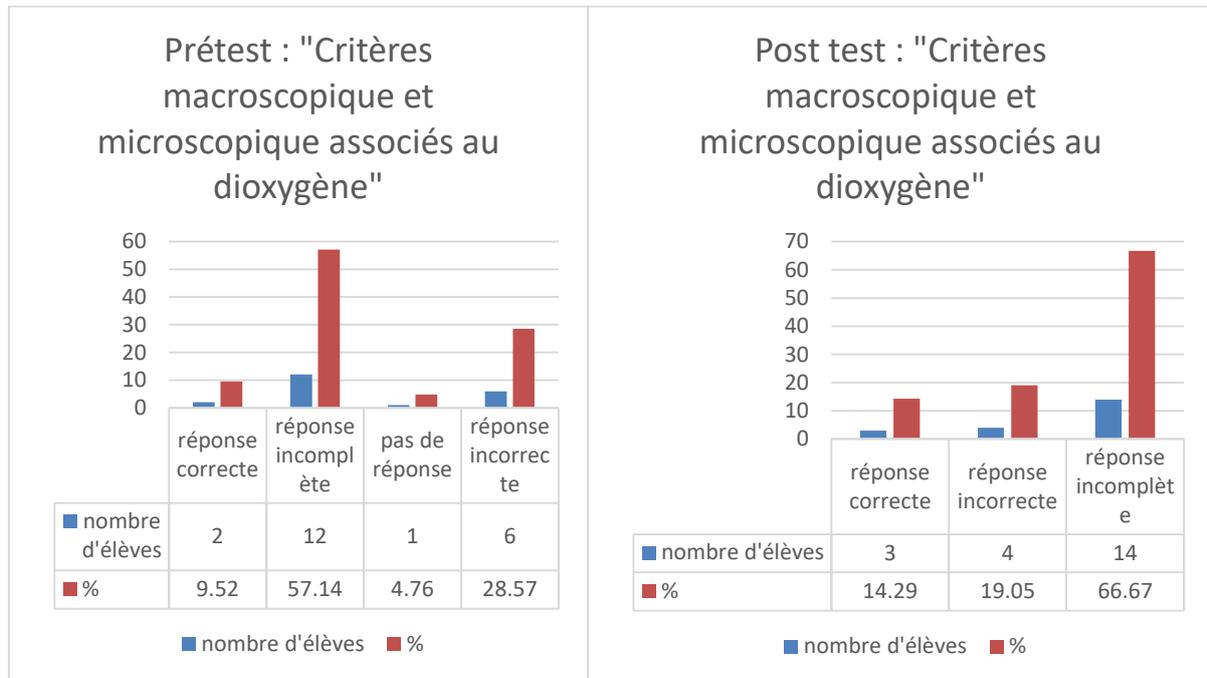
Lorsqu'on compare les analyses (graphique 77) *a priori* et *a posteriori*, on note une évolution de 17,64%. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 3,29$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant les critères macroscopique et microscopique associés à l'éthanol, d'où la validation de l'hypothèse de recherche. Cette évolution non significative confirme l'hypothèse de recherche.

### 13-7-1 Bilan des comparaisons des analyses *a priori* et *a posteriori* de la quatrième question

On s'attendait à ce qu'il ait un progrès dans les classes expérimentales et pas de changement dans les classes théoriques. Cependant, on note de légers progrès dans les classes théoriques dus à l'enseignement théorique reçu mais non significatifs. L'hypothèse de recherche est donc acceptée dans les classes théoriques puisqu'ils ne participent pas à l'expérimentation. Pour les classes expérimentales, on s'attendait à un progrès significatif mais

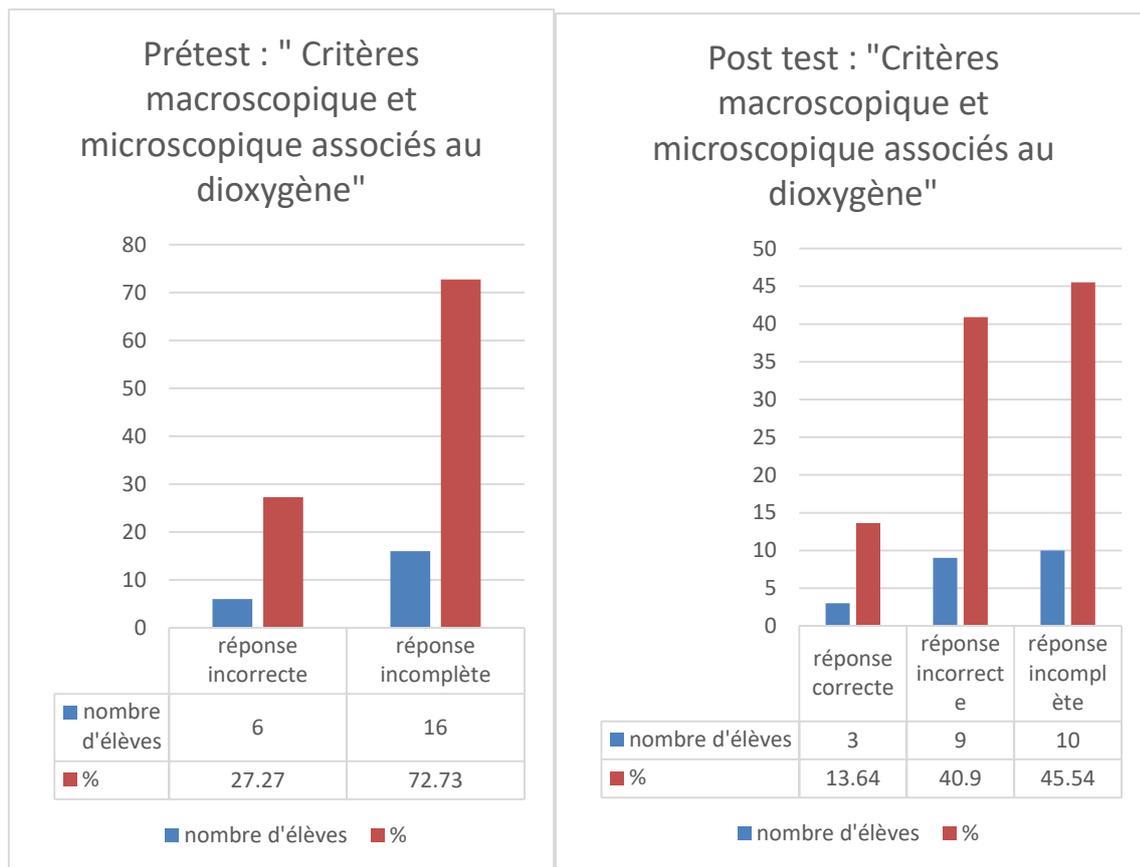
ce n'est pas le cas, puisque les progrès observés ne sont pas significatifs pour à valider les hypothèses de recherche.

### 13-8 Comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* relatives à la cinquième question



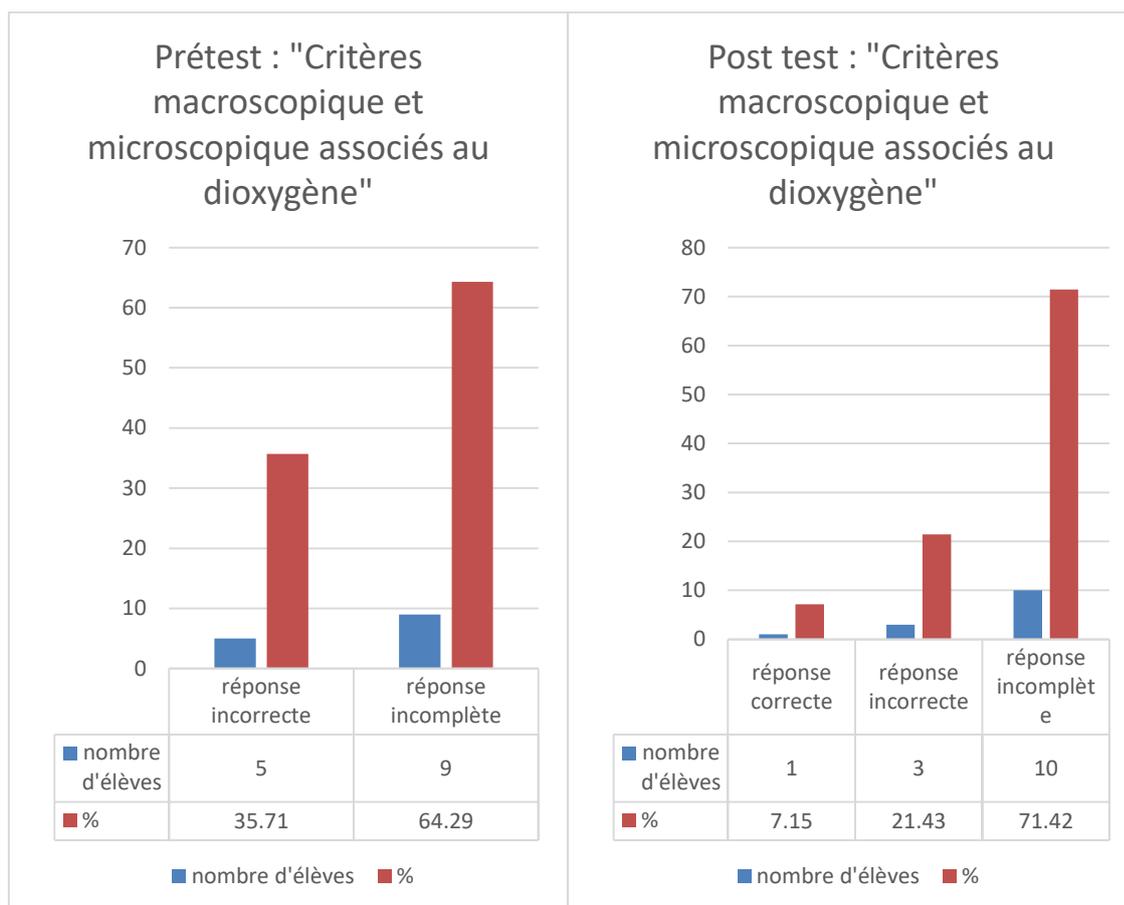
**Graphique 78 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale C expérimentale concernant la cinquième question**

D'après le graphique 78, lorsqu'on compare les analyses *a priori* et *a posteriori*, on note une évolution non significative. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0,228$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant les critères macroscopique et microscopique associés au dioxygène. Cette augmentation n'est pas suffisante pour valider l'hypothèse de recherche.



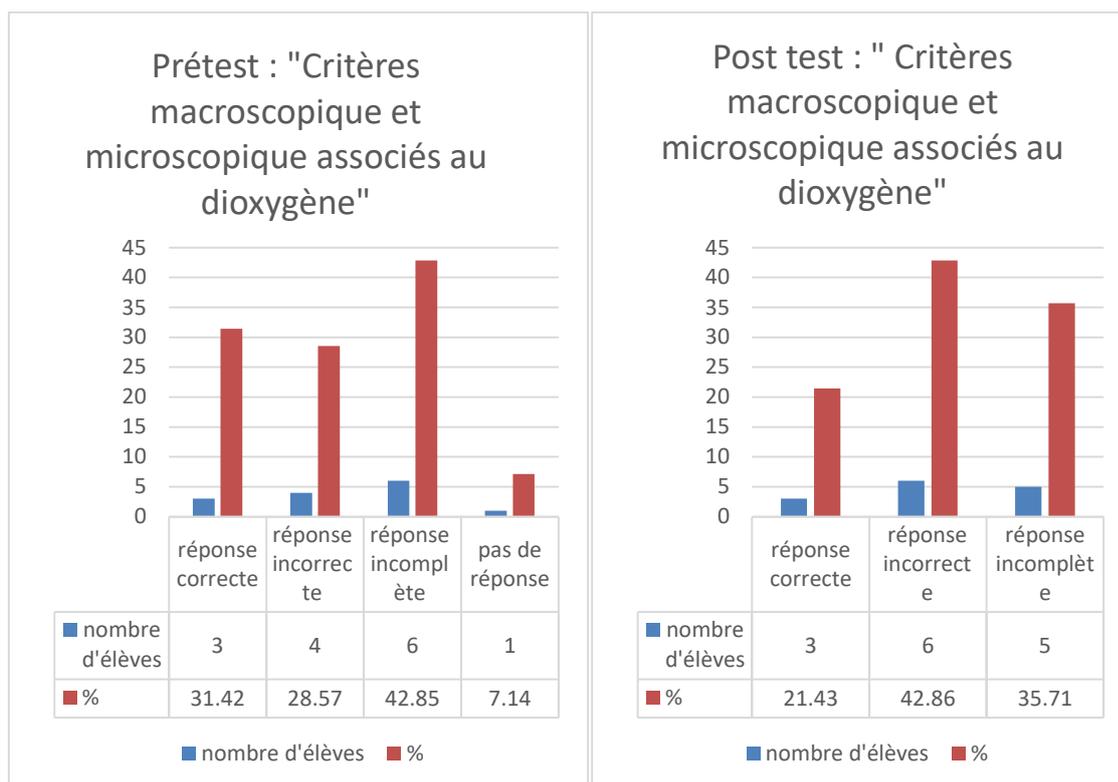
**Graphique 79 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale C théorique concernant la cinquième question**

D'après le graphique 79, une comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* indique une augmentation de l'ordre de 13,64%. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 3,22$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant les critères macroscopique et microscopique associés au dioxygène. L'hypothèse de recherche est acceptée dans la classe théorique.



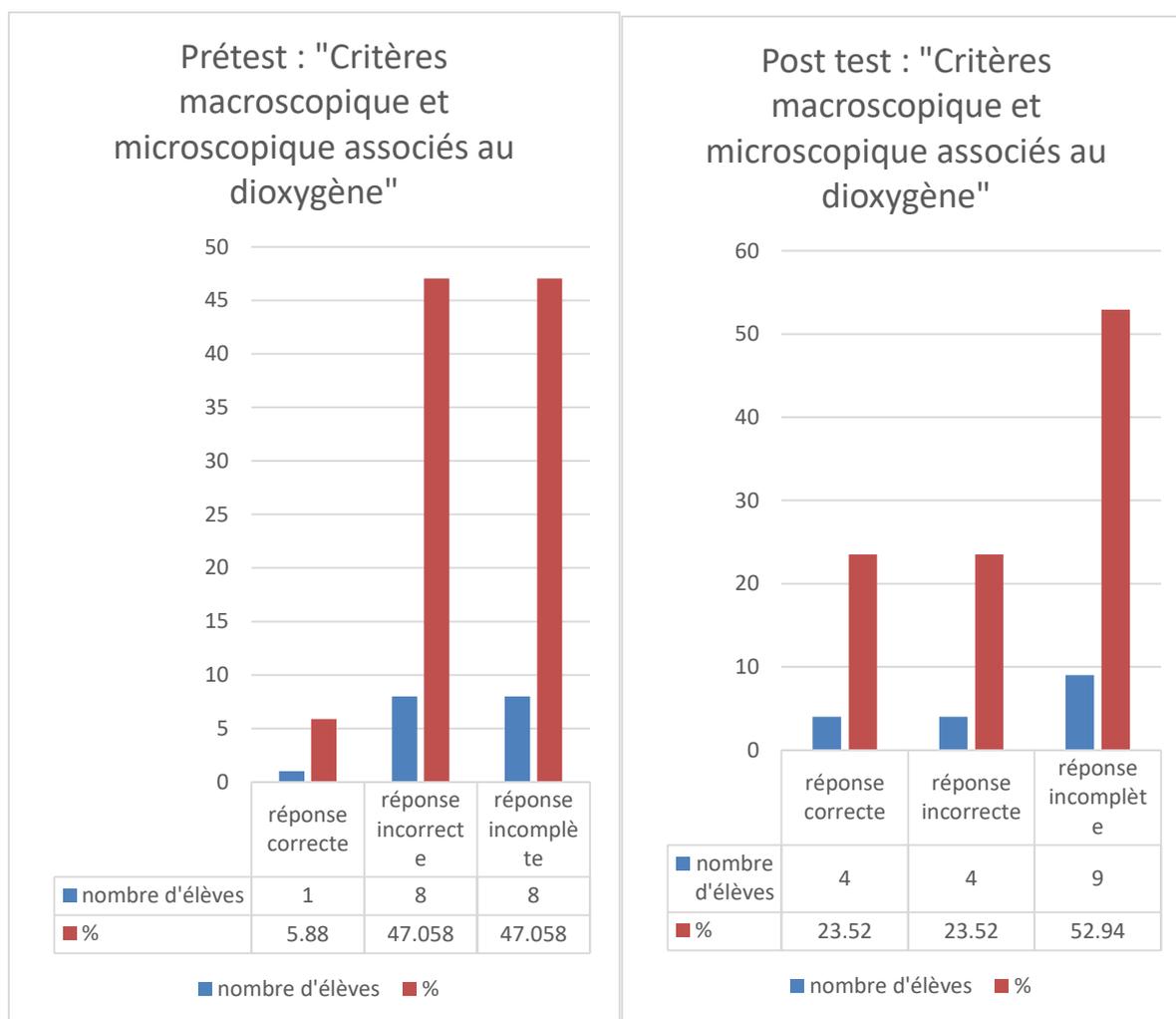
**Graphique 80 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D1 expérimentale concernant la cinquième question**

D'après le graphique 80, la comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* indique une évolution non significative dans les réponses des élèves. Cette évolution de 7,15% n'est pas significative pour valider l'hypothèse de recherche. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 1,038$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant les critères macroscopique et microscopique associés au dioxygène.



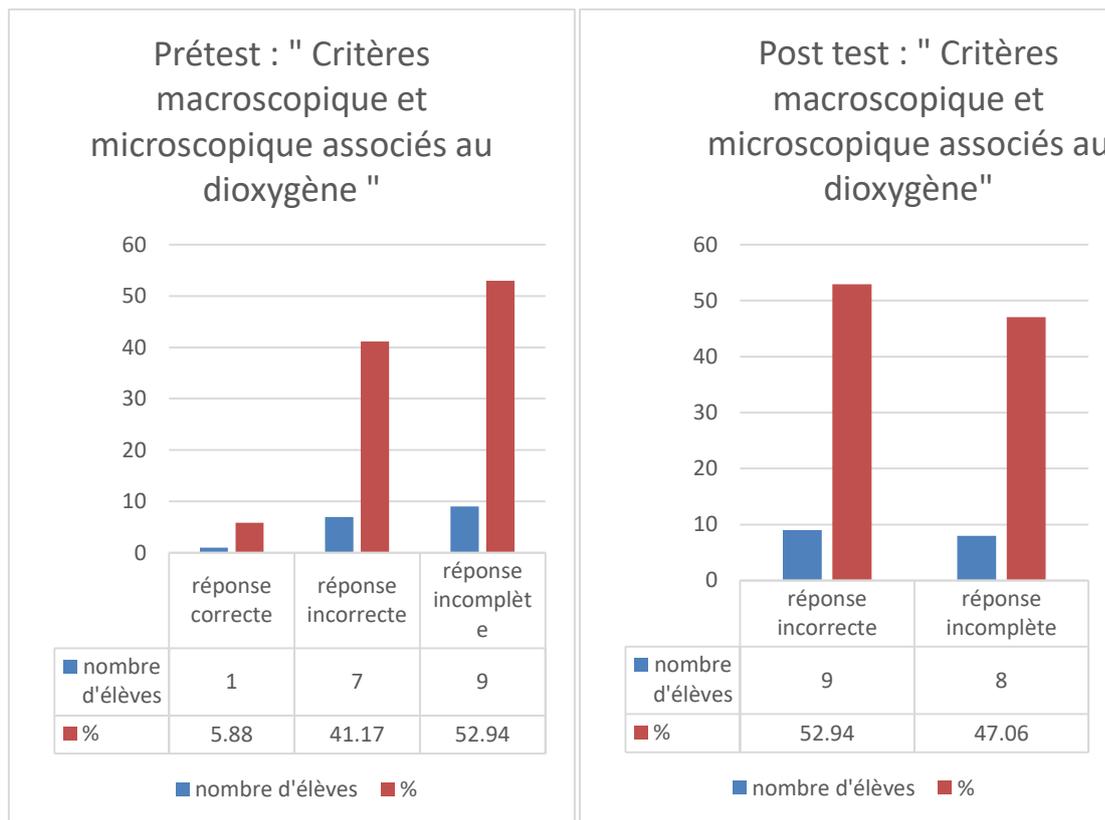
**Graphique 81 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D1 théorique concernant la cinquième question**

On n’observe pas d’évolution entre les proportions des réponses correctes d’après le graphique 81. Cette absence d’évolution confirme l’hypothèse de recherche. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n’y a pas d’évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant les critères macroscopique et microscopique associés au dioxygène. D’où l’hypothèse de recherche est acceptée dans cette classe.



**Graphique 82 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D2 expérimentale concernant la cinquième question**

Lorsqu'on compare (graphique 82) les analyses *a priori* et *a posteriori*, on note une évolution des réponses correctes. Cette évolution est de 17,64%. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 2,11$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant les critères macroscopique et microscopique associés au dioxygène.



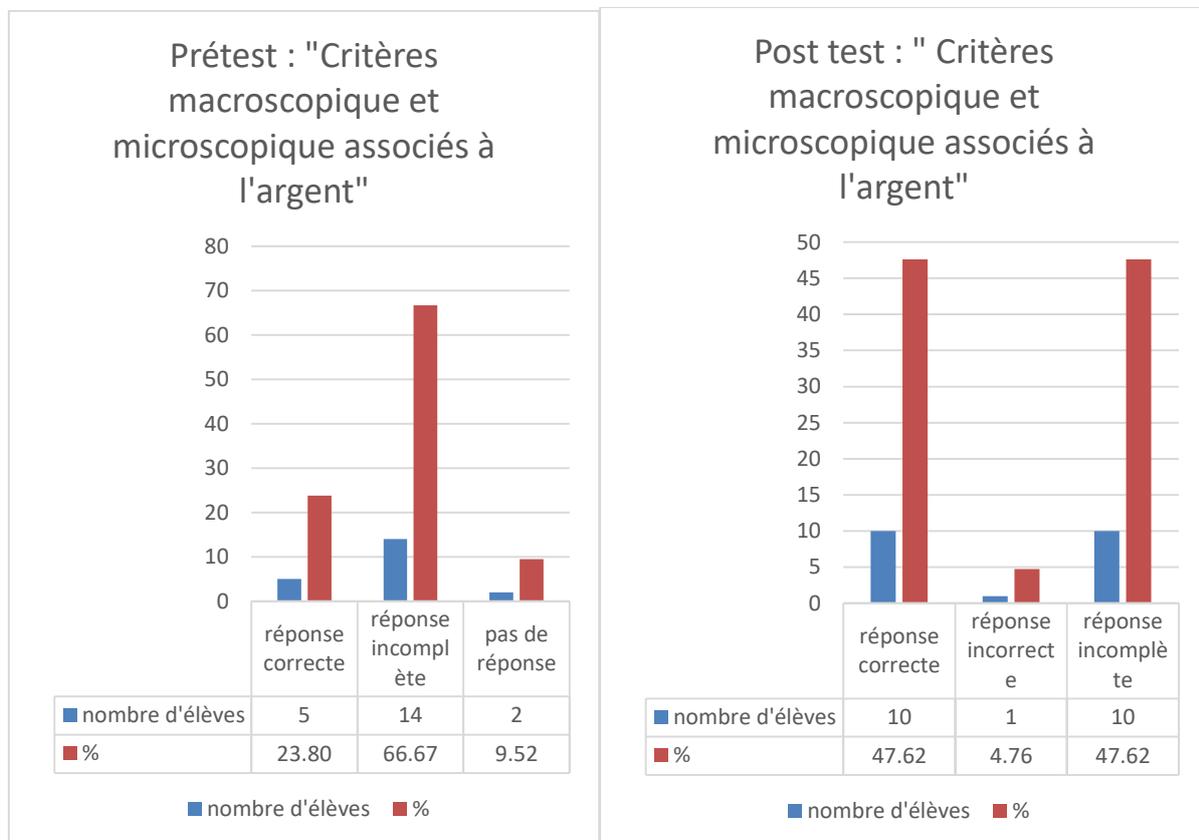
**Graphique 83 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D2 théorique concernant la cinquième question**

L'hypothèse de recherche est acceptée dans cette classe puisqu'on n'observe aucune évolution significative entre les réponses des élèves (graphique 83). En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 1,03$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant les critères macroscopique et microscopique associés au dioxygène. L'hypothèse de recherche est acceptée.

### **13-8-1 Bilan des comparaisons des analyses *a priori* et *a posteriori* de la cinquième question**

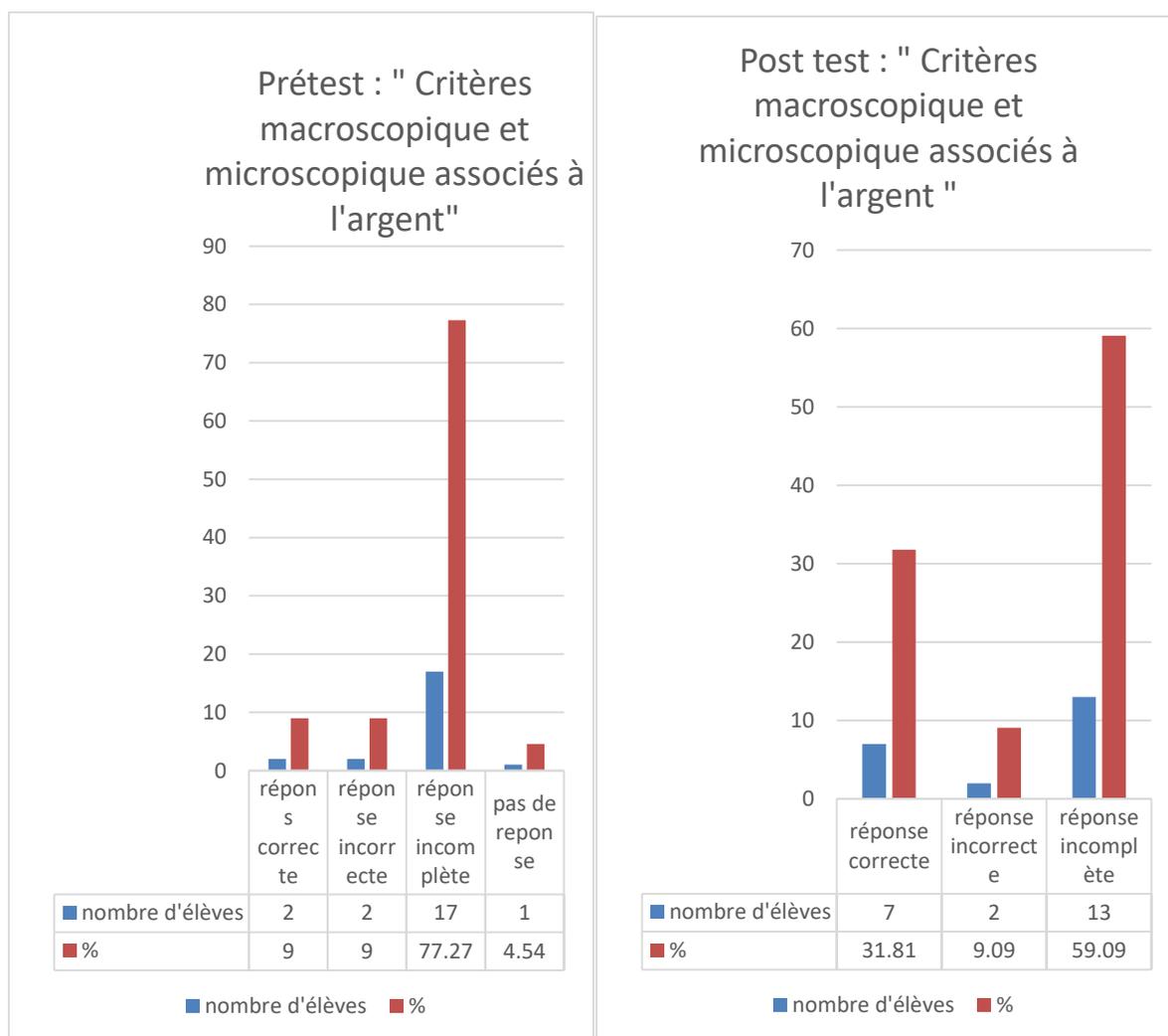
Dans l'ensemble des classes théoriques, les hypothèses de recherches sont acceptées dans les classes théoriques puisqu'on n'observe pas de différence significative dans les réponses correctes des élèves. Concernant les classes expérimentales toutes les hypothèses sont rejetées : le dispositif mis en place est sans effet sur la circulation entre les niveaux de savoir pour cette question.

### 13-9 Comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* concernant la sixième question



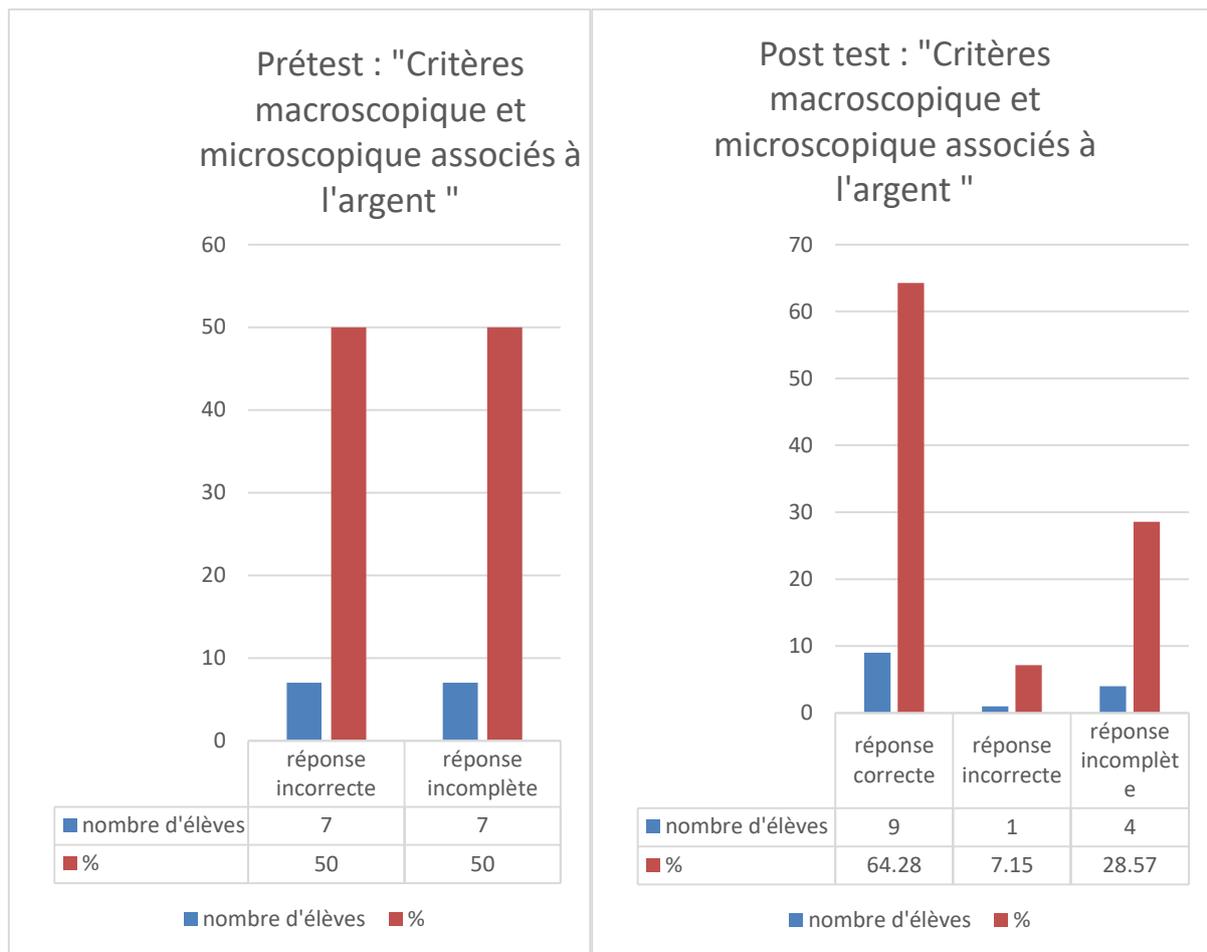
**Graphique 84 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale C expérimentale concernant la sixième question**

La comparaison des deux analyses (graphique 84) indique une différence non significative. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 2,592$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant les critères macroscopique et microscopique associés à l'argent. L'hypothèse de recherche est rejetée.



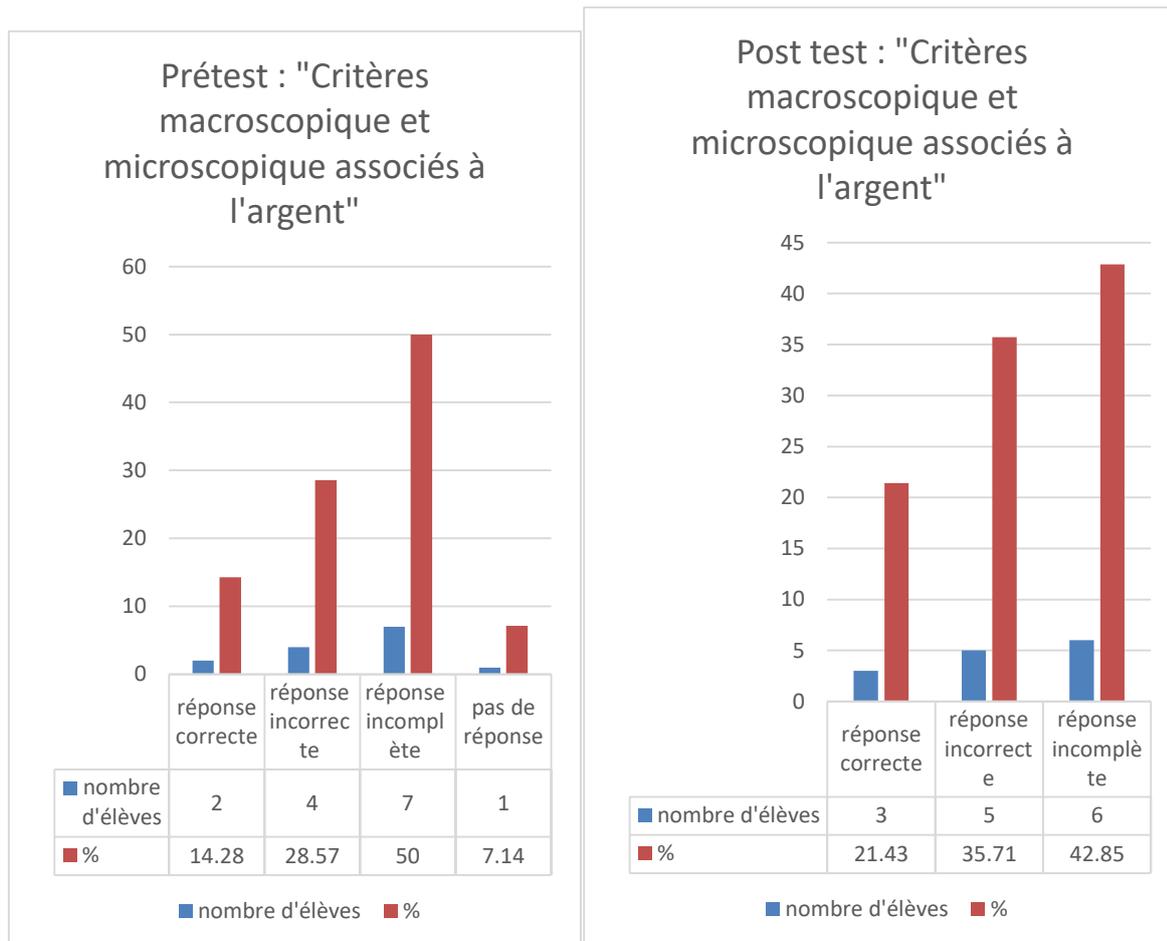
**Graphique 85 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale C théorique concernant la sixième question**

D'après le graphique 85, la comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* indique une faible évolution entre les appréhensions des élèves. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 3,492$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant les critères macroscopique et microscopique associés à l'argent. L'hypothèse de recherche est acceptée.



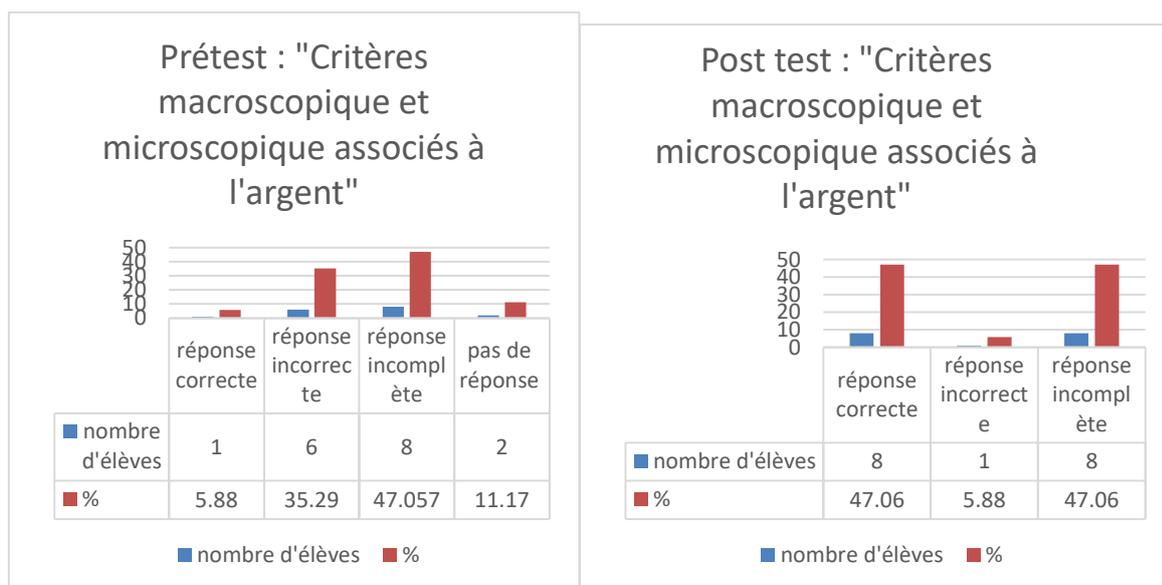
**Graphique 86 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D1 expérimentale concernant la sixième question**

La comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* réalisée via le graphique 86 indique une différence significative entre les appréhensions des élèves avant et après expérimentation. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 13,264$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} > \chi^2_{\text{seuil}}$ , il y a une évolution très significative entre les appréhensions des élèves concernant les critères macroscopique et microscopique associés à l'argent. L'hypothèse de recherche est acceptée dans cette classe.



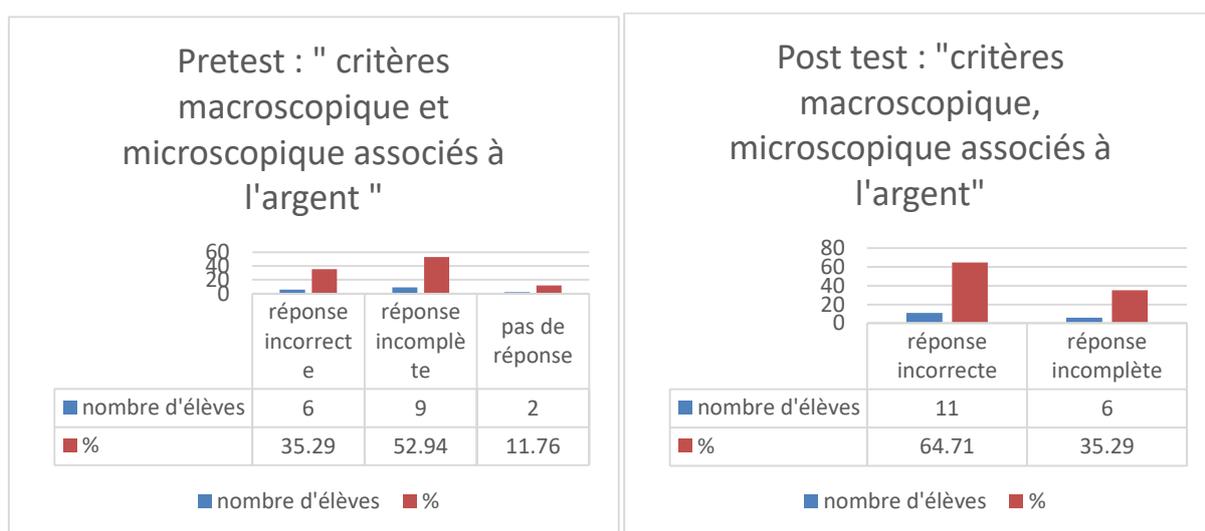
**Graphique 87 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D1 théorique concernant la sixième question**

D'après le graphique 87, lorsqu'on compare les analyses *a priori* et *a posteriori*, on note une petite évolution entre les appréhensions des élèves. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0,244$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant les critères macroscopique et microscopique associés à l'argent. L'hypothèse de recherche est acceptée.



**Graphique 88 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D2 expérimentale concernant la sixième question**

D'après le graphique 88, la comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* indique une différence entre les deux tests. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 7,404$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} > \chi^2_{\text{seuil}}$ , il y a une évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant les critères macroscopique et microscopique associés à l'argent. L'hypothèse de recherche est acceptée dans cette classe.



**Graphique 89 : Rappel des résultats des analyses *a priori* et *a posteriori* en classe de terminale D2 théorique concernant la sixième question**

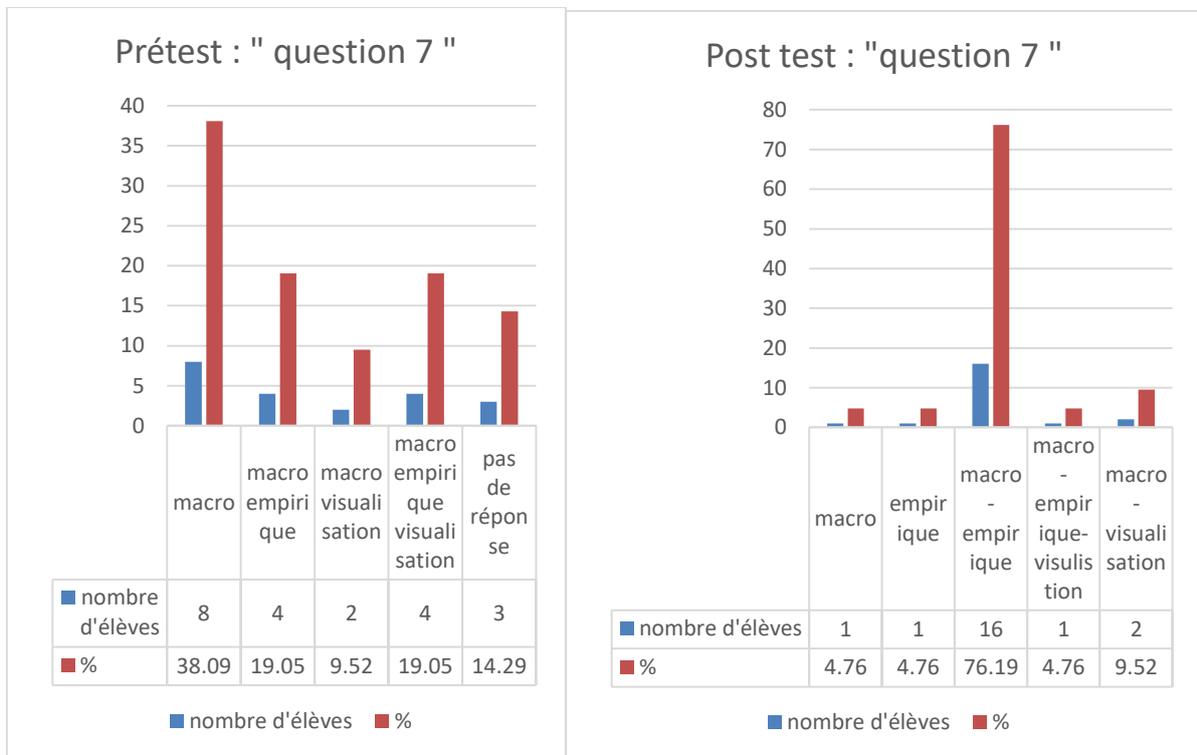
Lorsqu'on compare les deux analyses (graphique 89), on se rend compte qu'il n'existe pas de différences entre les tests concernant les réponses correctes. En effet, pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$  il n'y a pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves concernant les critères macroscopique et microscopique associés à l'argent. L'hypothèse de recherche est acceptée dans cette classe.

### **13-9-1 Bilan des comparaisons des analyses *a priori* et *a posteriori* concernant la sixième question**

On s'attendait à des résultats non significatifs dans les classes théoriques, c'est le cas. L'hypothèse de recherche est par conséquent acceptée pour ces classes. Pour les classes expérimentales, on s'attendait à des résultats significatifs, et c'est le cas en classes de terminales D1 et D2 expérimentales donc l'hypothèse est validée dans ces deux dernières classes, et infirmée en classe de terminale C expérimentale.

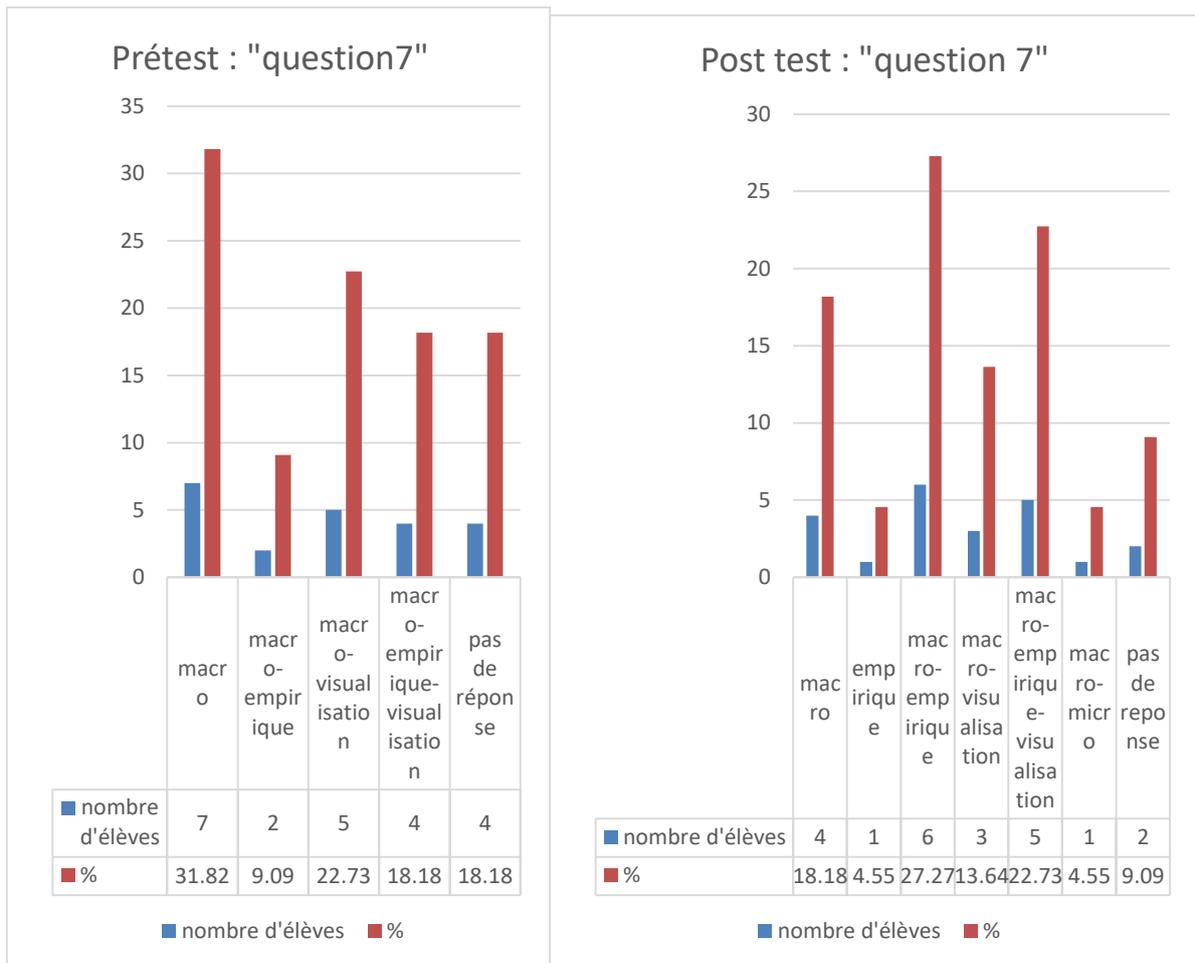
Les questions 7 à 11, sont des questions ouvertes. Nous avons procédé de la manière suivante pour le calcul du Khi-carré : lorsqu'un élève choisit deux niveaux de savoir au moins, on range la réponse dans correcte, et incorrecte dans le cas contraire. Les élèves absents ne sont pas pris en compte, mais ceux qui ne donnent pas de réponses sont pris en compte (réponses incorrectes).

### 13-10 Comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* concernant la septième question



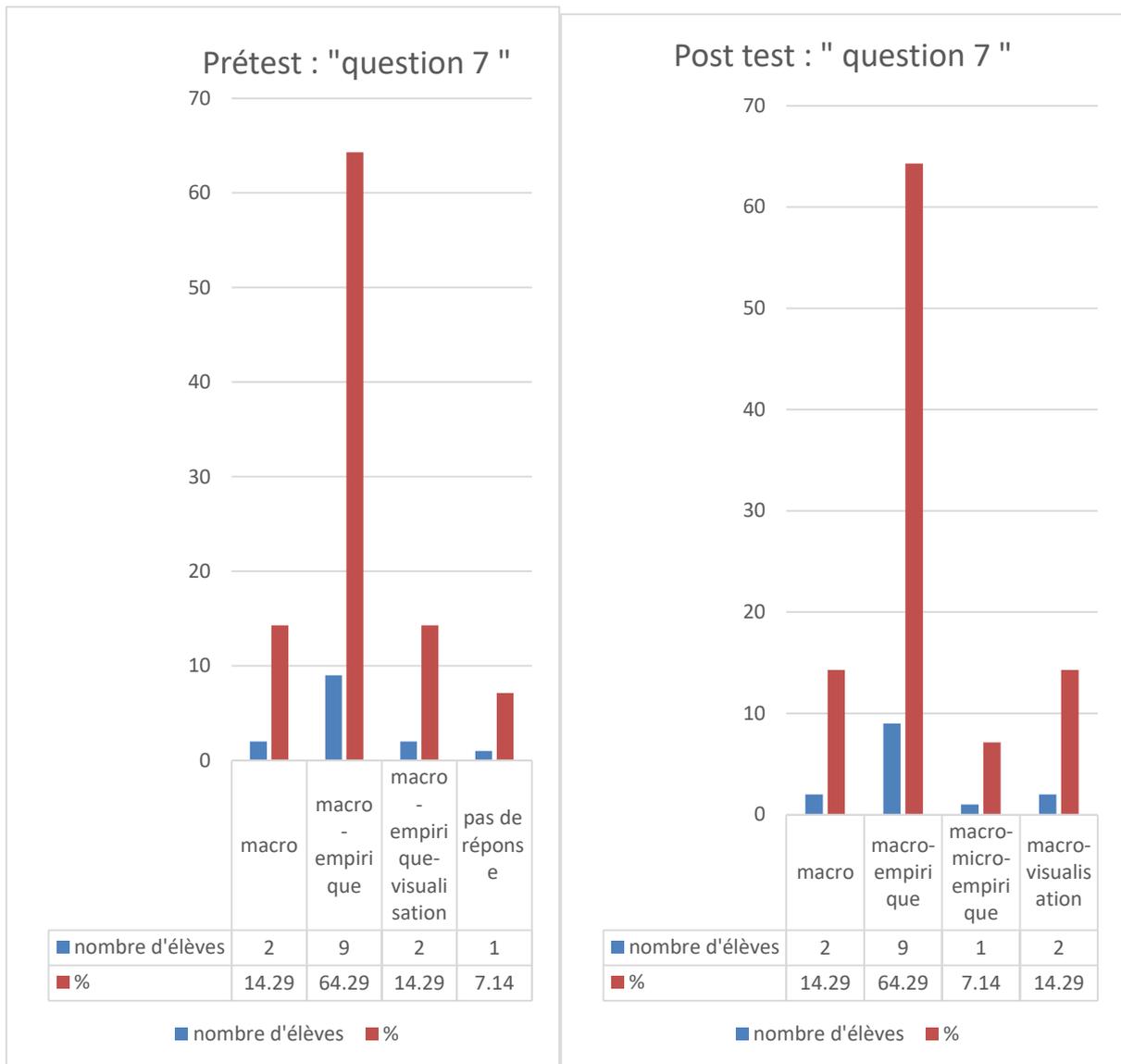
**Graphique 90 : comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* concernant la septième question pour la classe de terminale C expérimentale**

En comparant les analyses *a priori* et *a posteriori* (graphique 90), on a : pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 9,024$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} > \chi^2_{\text{seuil}}$ , il y a une évolution significative entre les appréhensions des élèves. L'hypothèse de recherche est acceptée dans cette classe.



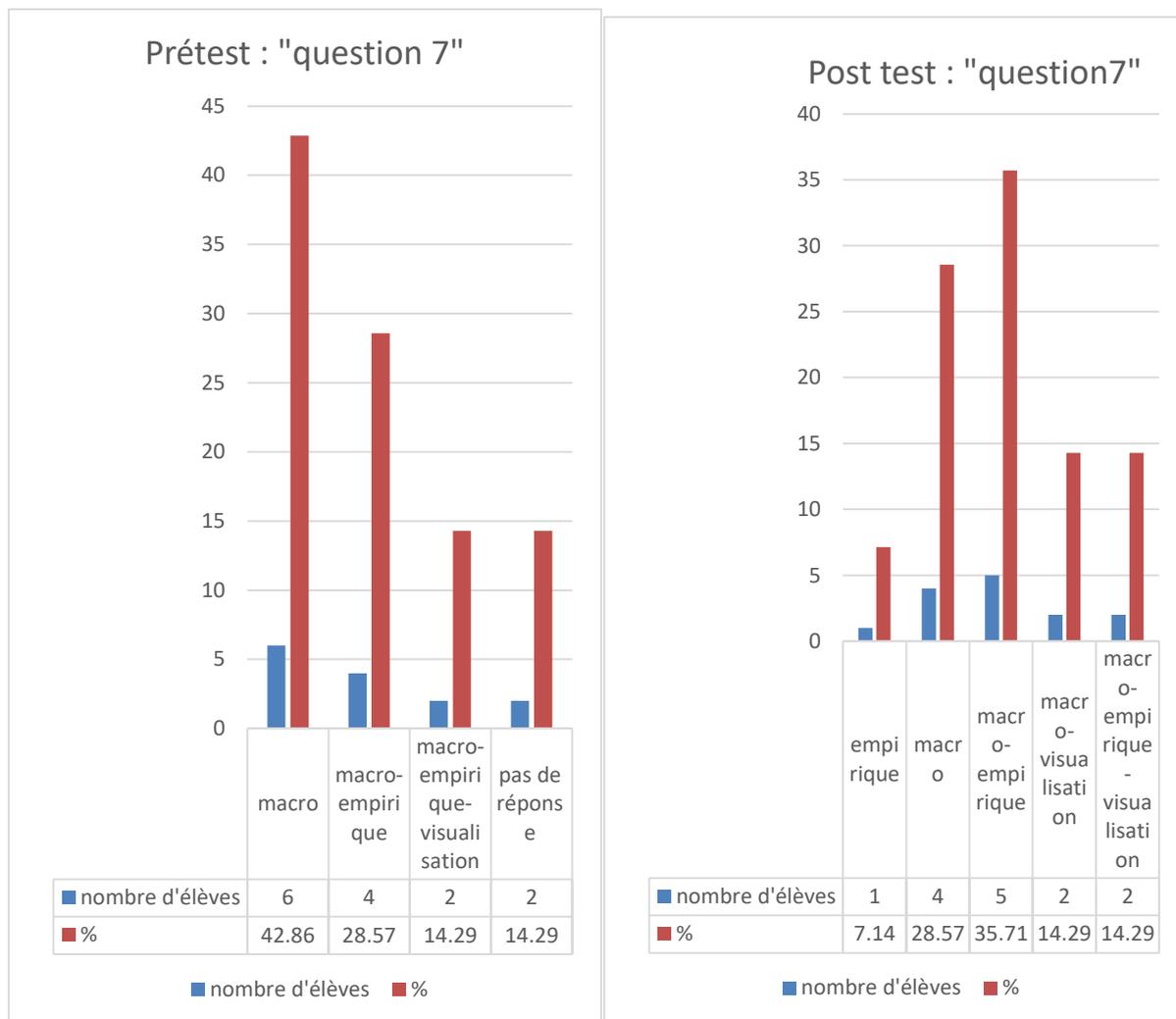
**Graphique 91 : comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* concernant la septième question pour la classe de terminale C théorique**

Réalisons le test du khi carré relatif aux deux analyses (graphique 91). Pour un degré de liberté égal à un,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 1,504$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , il n'y pas d'évolution significative entre les appréhensions des élèves. L'hypothèse de recherche est acceptée dans cette classe.



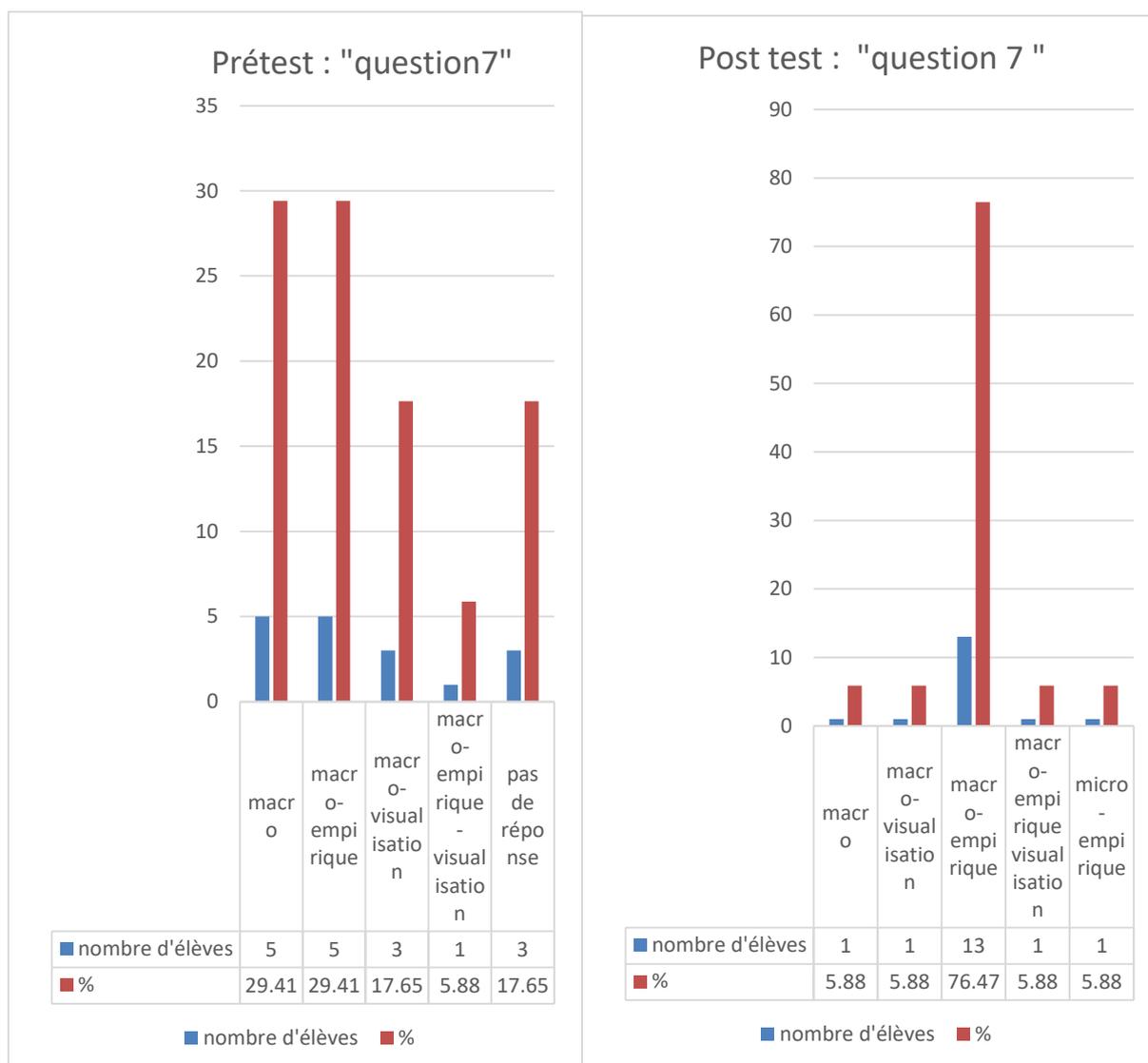
**Graphique 92 : comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* concernant la septième question pour la classe de terminale D1 expérimentale**

Réalisons le test du khi-carré relatif aux deux analyses (graphique 92).  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0,244$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , l'hypothèse de recherche est rejetée dans cette classe.



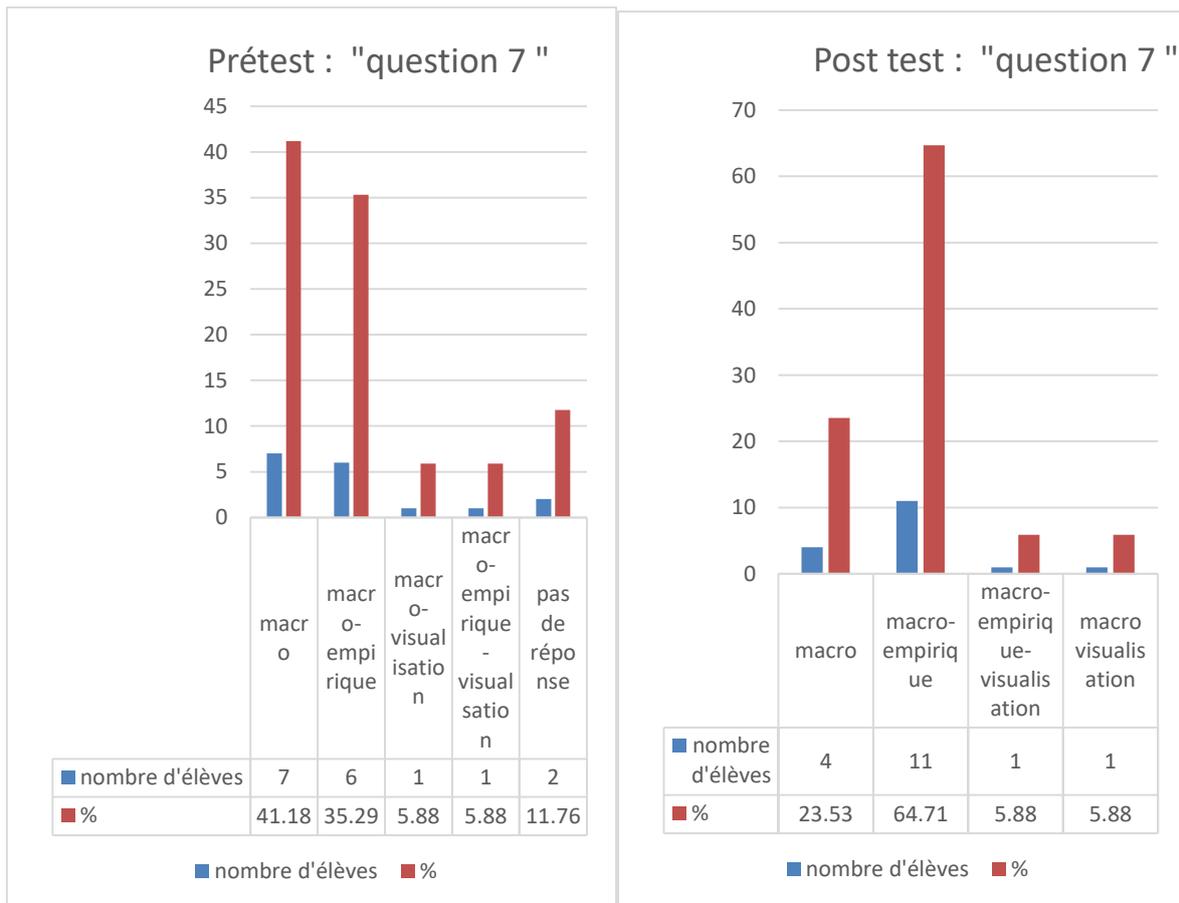
**Graphique 93 : comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* concernant la septième question pour la classe de terminale D1 théorique**

Comparons les deux analyses (graphique 93). Pour cela, intéressons-nous au test du khi-carré afin de confirmer l'existence ou non de différences.  $\chi^2_{\text{calculé}} = 1,292$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , l'hypothèse de recherche est acceptée dans cette classe.



**Graphique 94 : comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* concernant la septième question pour la classe de terminale D2 expérimentale**

Dans cette classe, la proportion des élèves qui emploient plusieurs niveaux à la fois augmente entre les deux tests (graphique 94). Calculons le test du khi-carré.  $\chi^2_{\text{calculé}} = 7,704$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} > \chi^2_{\text{seuil}}$ , l'hypothèse de recherche est acceptée dans cette classe.



**Graphique 95 : comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* concernant la septième question pour la classe de terminale D2 théorique**

Réalisons le test du khi-carré en nous appuyant sur le graphique 95.  $\chi^2_{\text{calculé}} = 3,114$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , l'hypothèse de recherche est acceptée dans cette classe. Cette dernière analyse nous conduit au bilan ci-après.

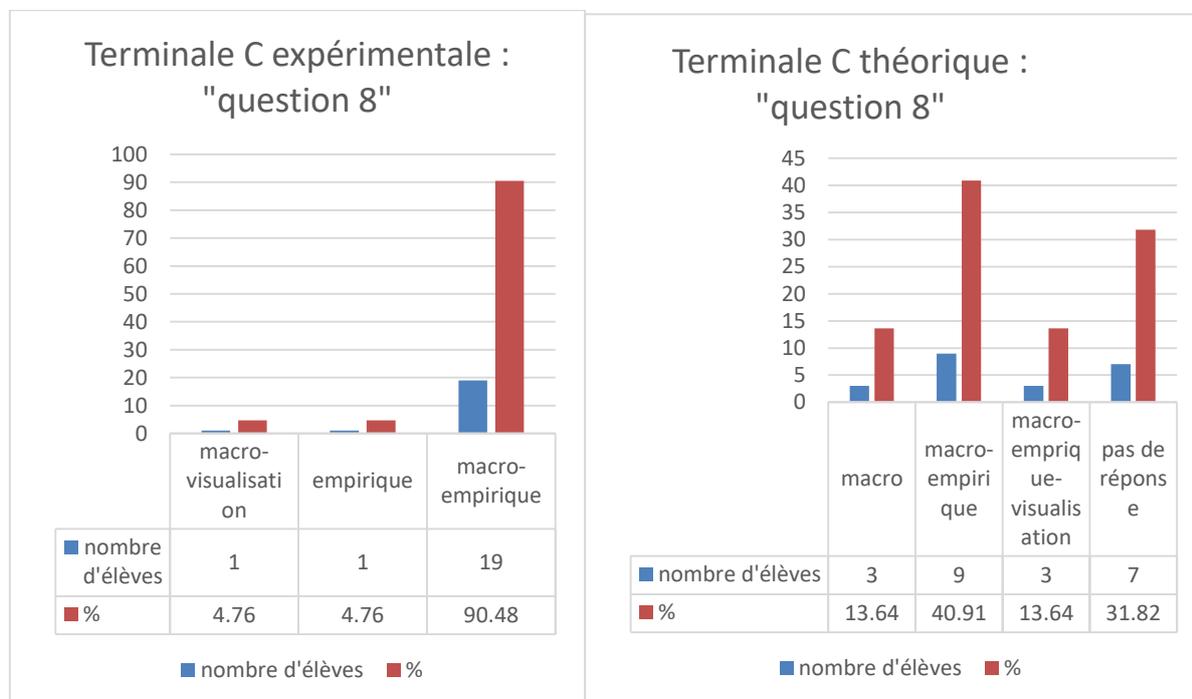
### 13-10-1 Bilan des comparaisons des analyses *a priori* et *a posteriori* question 7

Les comparaisons effectuées dans le paragraphe 13-10 indiquent que, à l'exception de la classe de terminale D1 expérimentale, les hypothèses de recherches sont acceptées dans toutes les autres classes.

Pour les questions 8 à 11, on comparera le post test des classes expérimentales et théoriques, car il n'est pas possible d'appliquer les recommandations de l'ingénierie didactique dans ce cas.

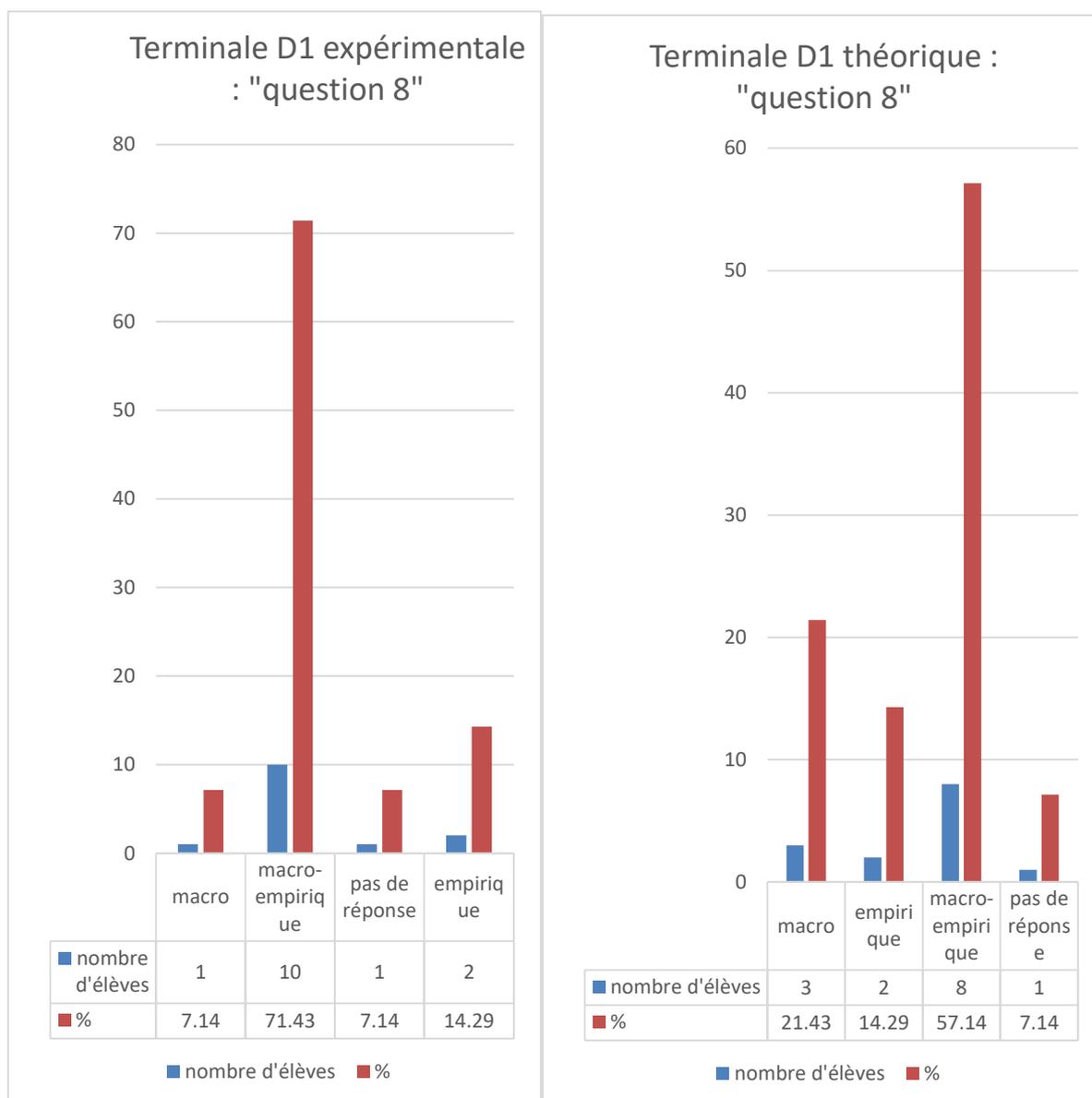
### 13-11 Comparaison des analyses *a posteriori* de la huitième question

La question numéro 8 porte sur la description du protocole expérimental de la saponification. On s'intéresse aux niveaux de savoir employés dans les réponses.



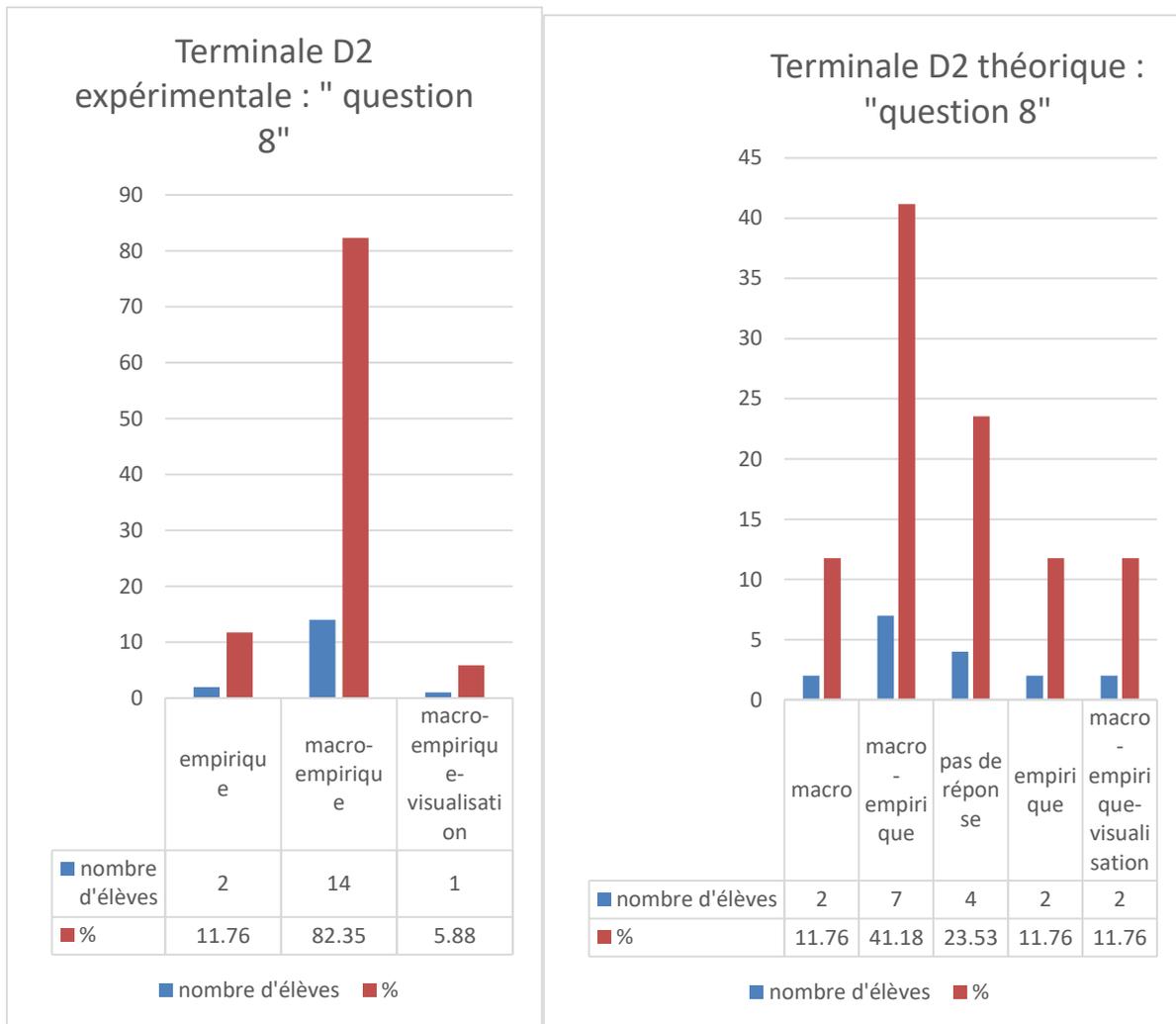
**Graphique 96 : comparaison des analyses *a posteriori* concernant la huitième question pour les classes de terminale C**

La comparaison des analyses des classes de terminales C expérimentale et théorique (graphique 96) indique une différence significative. En effet,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 9,346$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} > \chi^2_{\text{seuil}}$ , on peut affirmer que les élèves ayant participé à l'expérimentation décrivent mieux le protocole expérimental, par rapport aux autres qui n'ont pas participé.



**Graphique 97 : comparaison des analyses *a posteriori* concernant la huitième question pour les classes de terminale D1**

Lorsqu'on compare les analyses relatives à la huitième question (graphique 97), on s'interroge afin de savoir s'il existe une différence au niveau des réponses. Réalisons le test du khi-carré. En effet,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0,622$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , on peut affirmer que les élèves ayant participé à l'expérimentation ne décrivent pas mieux, de manière significative, le protocole expérimental par rapport aux élèves de la classe théorique.



**Graphique 98 : comparaison des analyses *a posteriori* concernant la huitième question pour les classes de terminale D2**

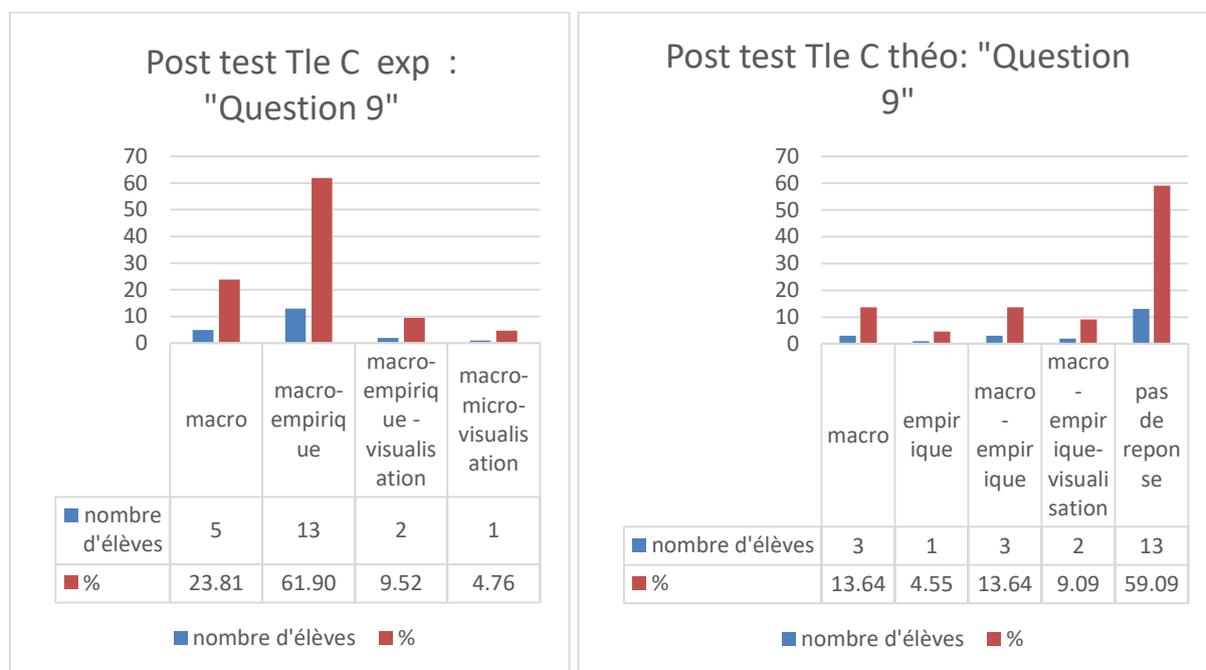
Réalisons le test du khi-carré afin de vérifier l'existence ou non d'une différence (graphique 98). En effet,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 5,1$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} > \chi^2_{\text{seuil}}$ , on peut affirmer que les élèves ayant participé à l'expérimentation décrivent de manière significative le protocole expérimental. L'hypothèse de recherche est acceptée.

### 13-11-1 Bilan des comparaisons des analyses *a posteriori* pour la question numéro 8

L'hypothèse de recherche est acceptée en classe de terminales C et D2 puisqu'il existe une différence significative entre le groupe expérimental et le groupe théorique. L'hypothèse de recherche est rejetée en classe de terminale D1.

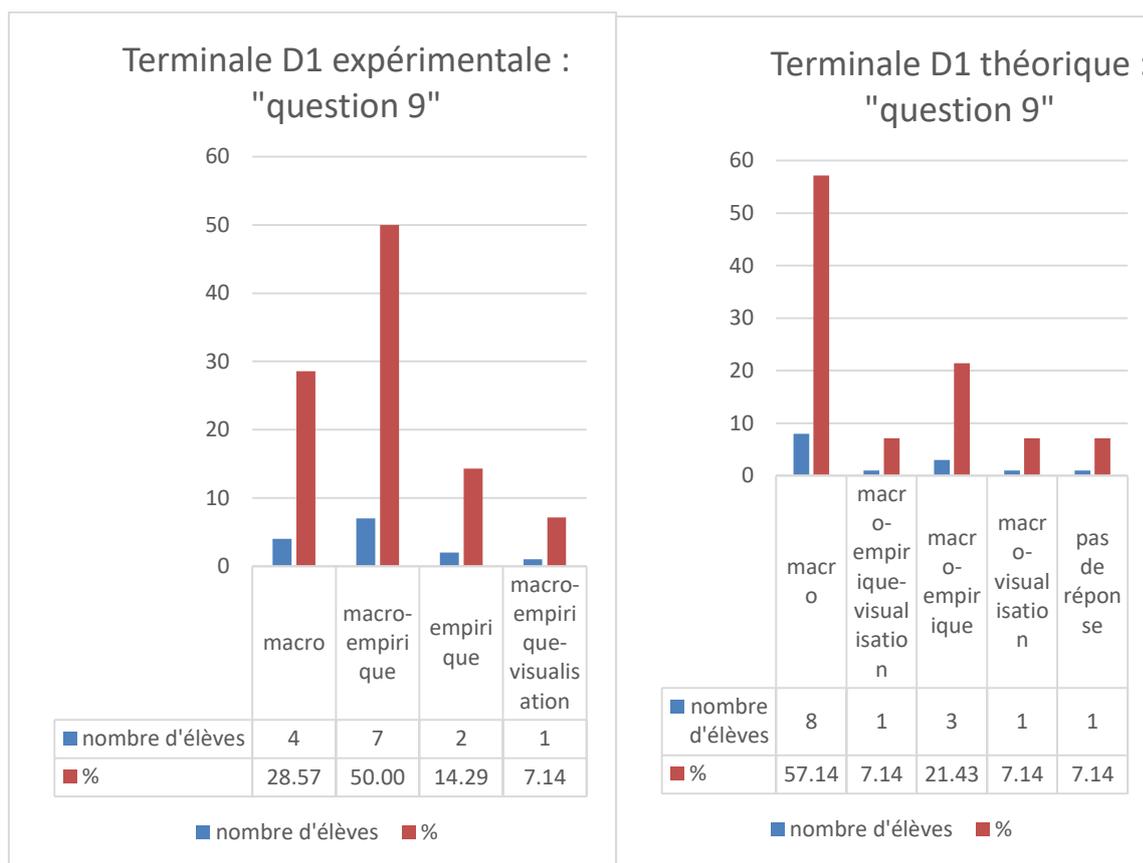
## 13-12 Comparaison des analyses *a posteriori* de la neuvième question

La neuvième question porte sur la description des substances utilisées au cours de la réaction chimique et du protocole d'obtention des produits. Intéressons-nous aux comparaisons des analyses.



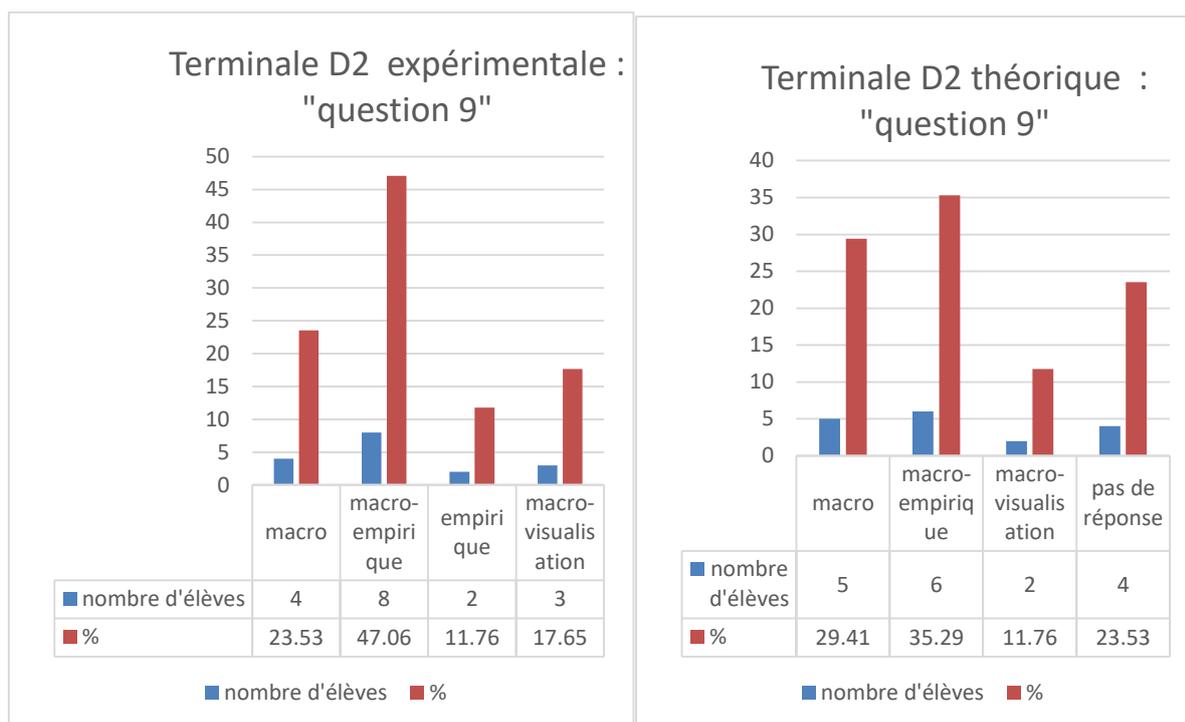
**Graphique 99 : comparaison des analyses *a posteriori* concernant la neuvième question pour les classes de terminale C**

On veut vérifier s'il y a une différence significative entre les résultats des classes expérimentale et théorique (graphique 99).  $\chi^2_{\text{calculé}} = 12,29$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} > \chi^2_{\text{seuil}}$ , Les élèves de la classe de terminale C expérimentale répondent mieux à la question numéro 9 contrairement à ceux de la classe théorique.



**Graphique 100 : comparaison des analyses *a posteriori* concernant la neuvième question pour les classes de terminale D1**

Il n'y a pas de différence significative entre les deux classes (graphique 100). En effet,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 1,292$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$  l'hypothèse de recherche est rejetée : l'expérimentation n'a pas d'impact sur les réponses des élèves.



**Graphique 101 : comparaison des analyses *a posteriori* concernant la neuvième question pour les classes de terminale D2**

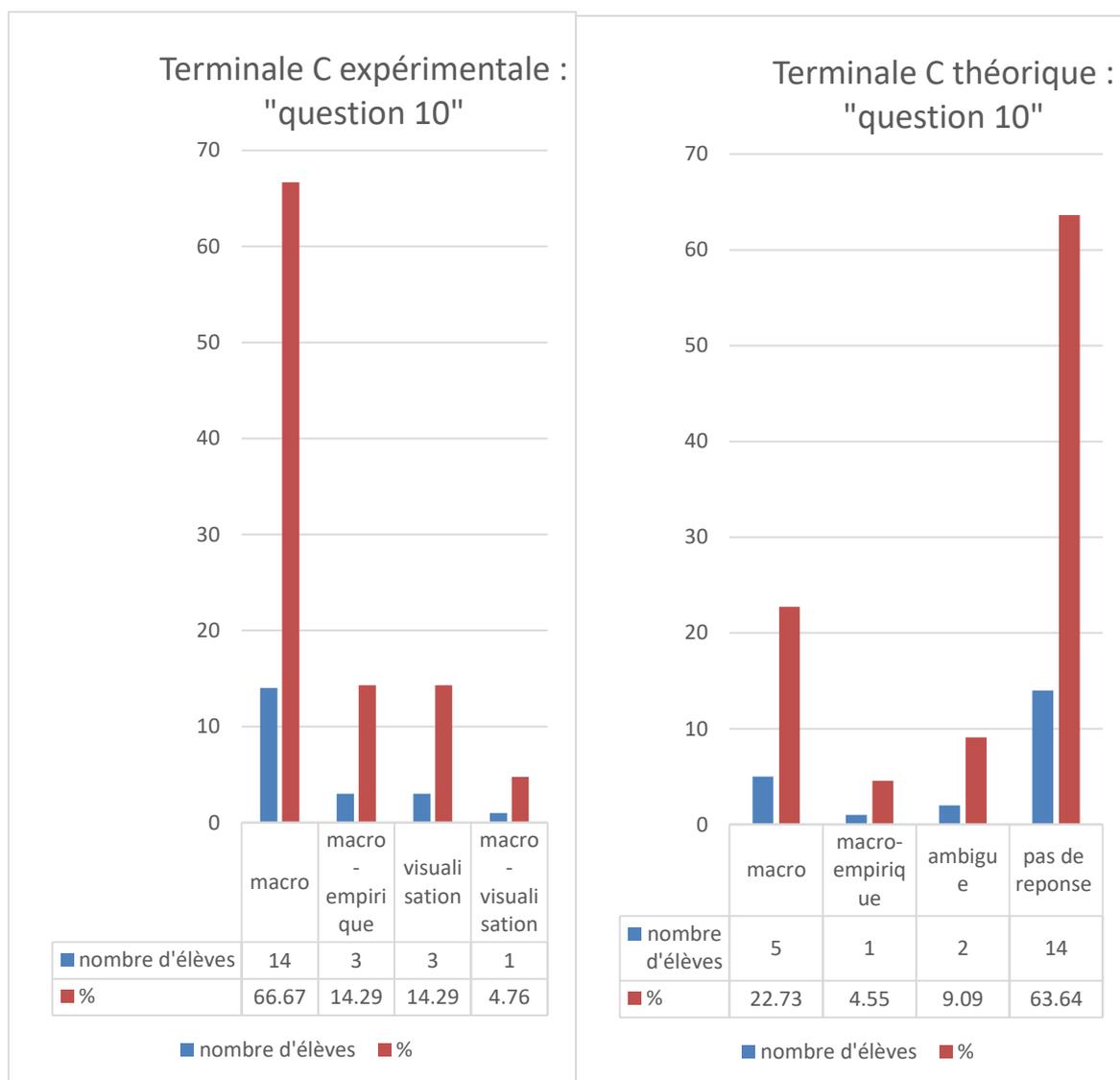
Réalisons le test du khi-carré en nous appuyant sur le graphique 101.  $\chi^2_{\text{calculé}} = 1,074$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$  donc l'hypothèse de recherche est rejetée dans cette classe : l'expérimentation n'a pas d'impact sur les réponses des élèves.

### 13-12-1 Bilan des comparaisons des analyses pour la question numéro 9

L'hypothèse de recherche est acceptée en classe de terminale C et rejetée dans le reste des classes (terminales D1 et D2).

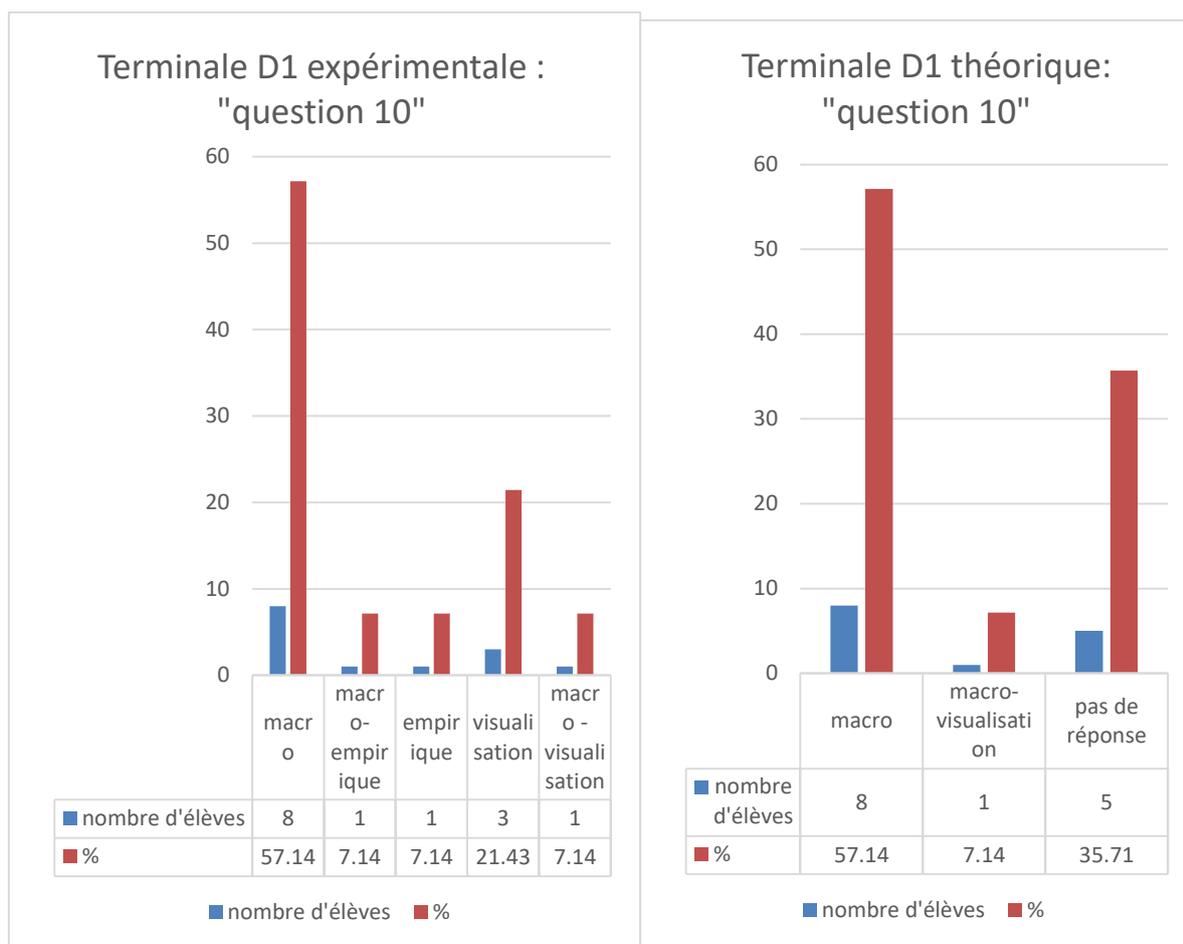
### 13-13 Comparaison des analyses *a posteriori* de la dixième question

La question numéro 10 porte sur l'interprétation du phénomène observé.



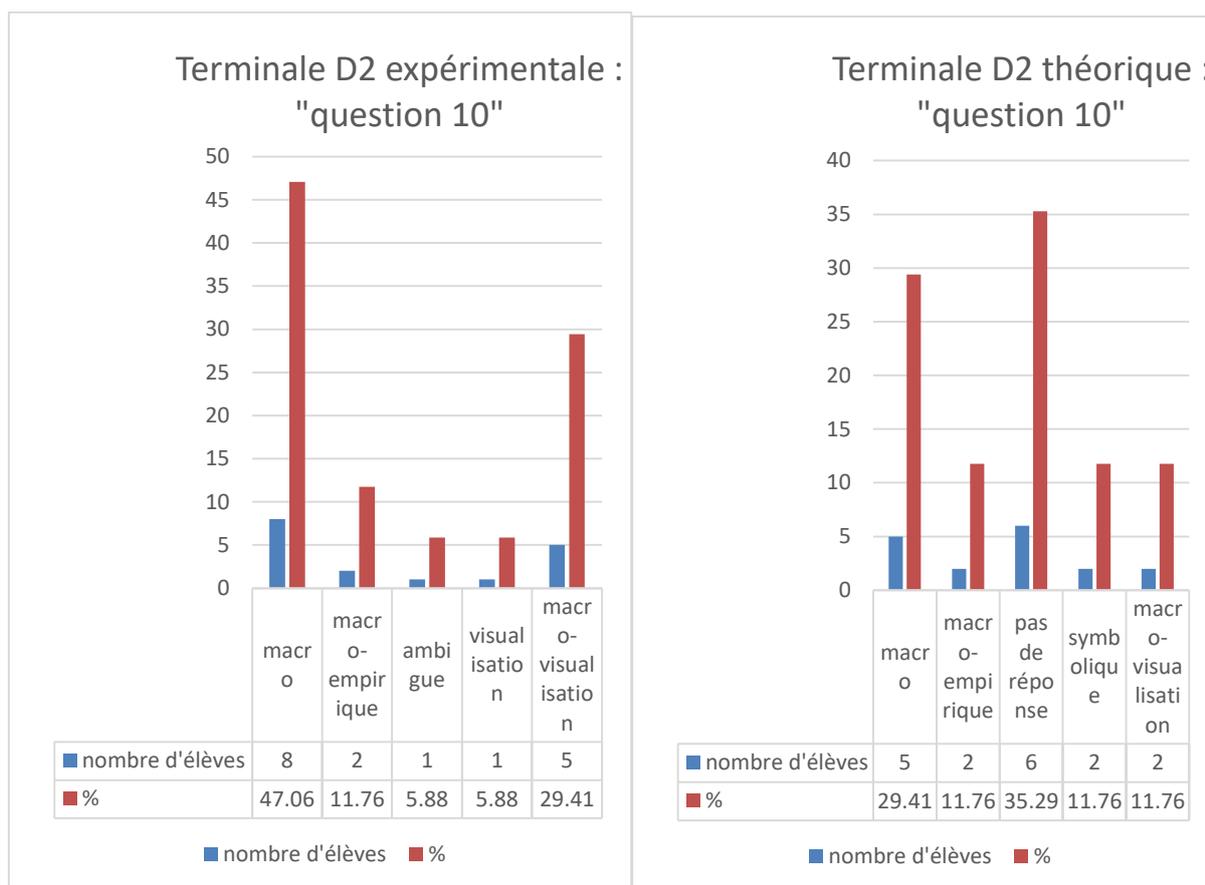
**Graphique 102 : comparaison des analyses *a posteriori* concernant la dixième question pour les classes de terminale C**

On veut regarder s'il y a une différence significative entre les résultats des deux classes (graphique 102).  $\chi^2_{\text{calculé}} = 2,199$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , on peut affirmer que les élèves de la classe expérimentale n'interprètent pas mieux la réaction chimique par rapport aux ceux de la classe théorique. L'hypothèse de recherche est rejetée.



**Graphique 103 : comparaison des analyses *a posteriori* concernant la dixième question pour les classes de terminale D1**

On veut regarder s'il y a une différence significative entre les résultats des deux classes (graphique 103). Comme  $\chi^2_{\text{calculé}} = 0,374$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%.  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , on peut affirmer que les élèves de la classe expérimentale n'interprètent pas mieux la réaction chimique par rapport à ceux de la classe théorique.



**Graphique 104 : comparaison des analyses *a posteriori* concernant la dixième question pour les classes de terminale D2**

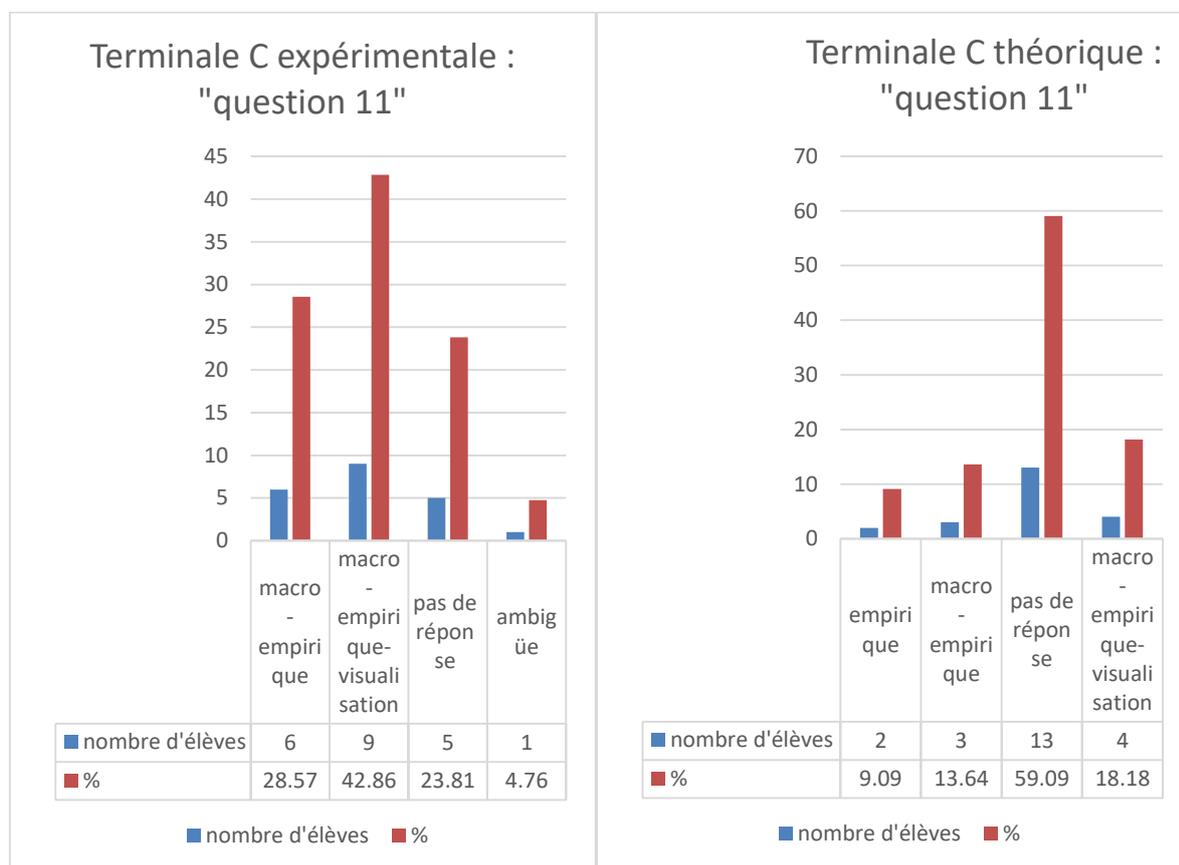
Lorsqu'on compare les analyses *a posteriori*, on ne note pas une différence entre les deux classes (graphique 104). En effet,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 1,21$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , l'hypothèse de recherche est rejetée.

### 13-13-1 Bilan des comparaisons des analyses *a posteriori* pour la question numéro 10

L'hypothèse de recherche est rejetée dans les trois classes : le dispositif expérimental mis en place est sans effet en ce qui concerne la question numéro 10 (« *Comment peut-on interpréter le phénomène observé ?* »).

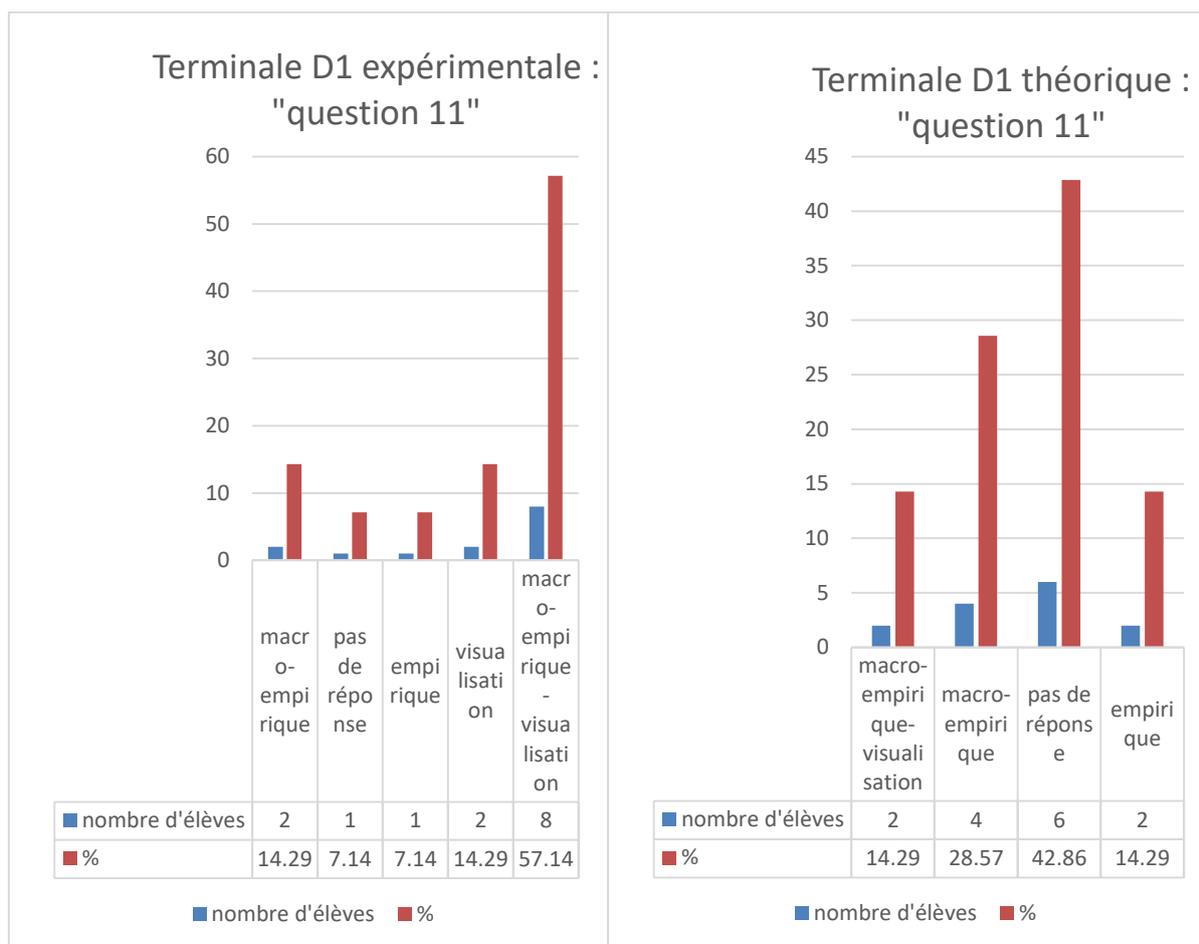
### 13-14 Comparaison des analyses *a posteriori* de la onzième question

Pour la question 11, on veut regarder si l'élève représente le phénomène par un schéma, tout en précisant les étapes ainsi que les corps intervenant dans une réaction chimique et leurs aspects, couleurs. Lorsque l'élève utilise un schéma on range la réponse dans modélisation.



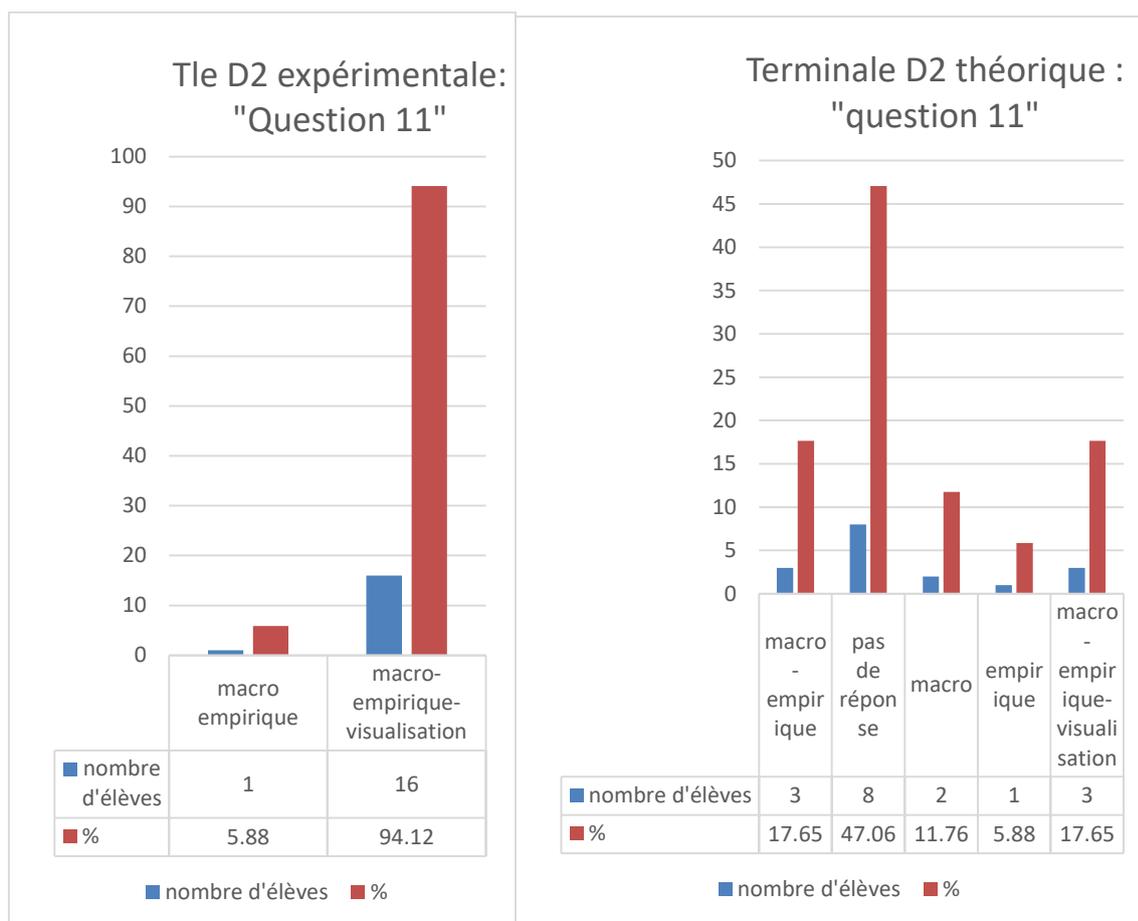
**Graphique 105 : comparaison des analyses *a posteriori* concernant la onzième question pour la classe de terminale C**

On veut regarder s'il y a une différence significative entre les résultats des deux classes (graphique 105).  $\chi^2_{\text{calculé}} = 6,747$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} > \chi^2_{\text{seuil}}$ , l'hypothèse de recherche est acceptée en classe.



**Graphique 106 : comparaison des analyses *a posteriori* concernant la onzième question pour la classe de terminale D1**

D'après le graphique 106, on note quelques différences entre les réponses des deux classes.  $\chi^2_{\text{calculé}} = 2,334$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{seuil}}$ , l'expérimentation n'a pas produit des effets dans cette classe.



**Graphique 107 : comparaison des analyses *a posteriori* concernant la onzième question pour la classe de terminale D2**

Lorsqu'on compare les deux analyses (graphique 107), on se rend compte qu'il existe une différence significative entre les réponses des élèves. En effet,  $\chi^2_{\text{calculé}} = 12,88$  et  $\chi^2_{\text{seuil}} = 3,841$  au seuil de 5%. Comme,  $\chi^2_{\text{calculé}} > \chi^2_{\text{seuil}}$ , Les élèves de la classe de terminale D2 qui ont participé à l'expérimentation modélisent mieux le phénomène chimique par rapport à ceux de la classe théorique. L'hypothèse de recherche est acceptée.

### 13-14-1 Bilan des comparaisons des analyses *a posteriori* pour la question numéro 11

L'hypothèse de recherche est acceptée en classe de terminales C et D2 et rejetée en terminale D1.

## **13-15 Conclusion**

Ce chapitre était nécessaire pour la validation des hypothèses de recherche. En effet, une comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* a été réalisée pour les questions 1 à 7. Une autre comparaison entre les analyses *a posteriori* (comparaison classes expérimentales et classes théoriques) a été réalisée pour les questions 8 à 11. Le chapitre 14 permet de discuter les résultats obtenus.

## CHAPITRE 14 : DISCUSSION DES RÉSULTATS

Ce chapitre s'intéresse à la discussion des différents résultats obtenus précédemment ainsi qu'à la méthodologie de la recherche. De manière spécifique, il est question d'expliquer les difficultés des élèves en termes de niveau de savoirs en s'appuyant sur les réponses proposées lors des différents questionnaires. Les résultats des questions sont discutés progressivement. Le chapitre se clôture par la discussion portant sur la méthodologie de la recherche.

### 14-1 Discussion portant sur les résultats des trois premières questions et de l'exemple associé

Ces premières questions portent sur les appréhensions des élèves concernant le macroscopique, le microscopique et le symbolique. Lors de la passation des questionnaires, pour le macroscopique, les élèves semblaient ne pas donner de réponses puisque ce mot ne fait partie du vocabulaire généralement employé en classe. Quelques-uns posaient la question : « *est-il possible de décomposer le mot ou encore trouver les mots de la même famille afin de donner le sens ?* ». Il leur a été demandé par les enseignants titulaires des classes de s'appuyer sur toutes leurs connaissances sans limite du champ d'étude. Par la suite, certains réussissaient à décoder la signification en se basant par exemple sur la décomposition du mot par opposition au microscopique et en s'appuyant sur les documents mis à leurs dispositions (précision d'un enseignant qui reporte les propos d'un élève de la classe de terminale C expérimentale). Cette tâche a été simple à réaliser pour les élèves de la classe de terminale C car, « *le terme « macroscopique » était souvent employé par le prof durant les leçons de sciences de la vie et de la terre,* » (affirme un élève de la classe de terminale C, propos noté par l'enseignant lors de la passation des questionnaires), d'où peut-être le décalage par rapport aux autres classes. Dans la plupart des cas, certains élèves qui ne parvenaient pas à décoder la définition du macroscopique donnaient au moins des exemples tels que « *couleur, solution...* ». Il est difficile dans ce cas de comprendre les propos des élèves portant sur leurs appréhensions car ces derniers ne parviennent pas à expliquer ce qu'ils pensent. Cette explication demeurera valide puisque le nombre d'élèves qui répond correctement à la question est quelquefois revu à la baisse entre le prétest et le post test. Cependant, compte tenu du fait que le prétest n'avait pas eu lieu le même jour pour toutes les classes, il n'est pas à exclure quelques biais concernant les élèves qui

auraient communiqué avec les premiers à réaliser le prétest. Ce biais n'a pas pu être évité compte tenu des contraintes dues aux plages horaires mises à notre disposition qui intègrent la crise sanitaire. Par ailleurs, les variations de réponses correctes confirment davantage l'idée suivant laquelle les élèves ont du mal à appréhender le macroscopique. En effet, entre les deux tests, on note des élèves qui n'avaient pas proposé de réponses correctes au départ, qui l'ont fait par la suite : on pourrait penser dans ce cas, d'une part aux recherches personnelles des élèves (internet, dictionnaire...), et d'autre part au dispositif mis en place. Pour l'exemple associé, les élèves proposent quelquefois le bon document (terminale D1 expérimentale) et dans les autres cas des documents qui ne correspondent pas. Par ailleurs, même les élèves qui réussissent à donner des réponses correctes au départ ne parviennent toujours pas à donner un exemple associé qui pourrait justifier leurs appréhensions. En résumé, au vu du test du khi-carré relatif à la première question, les élèves de la classe de terminale C expérimental comme ceux de la classe D2 expérimentale ne réussissent pas. Les élèves de la classe de terminale D1 expérimentale réussissent contrairement à ceux de la classe de terminale D1 théorique en ce qui concerne la question numéro 1 ainsi que l'exemple associé (question 1-1) : le dispositif d'expérimentation mis en place en classe de terminale D1 expérimentale améliore les appréhensions des élèves sur le macroscopique. Regardons la deuxième question.

La seconde question porte sur les appréhensions des élèves sur le microscopique. Dans la plupart des classes, les démarches utilisées pour répondre à la question sont similaires, mot de même famille, connaissances antérieures, décomposition du mot. Cette question semblait être plus aisée pour une bonne partie des élèves qui utilisaient le vocable « *petit* » par rapprochement aux « *petit êtres vivant*, », aux « *êtres vivants de petites tailles* », invisibles à l'œil nu et visibles au microscope, ou encore des réponses comme « *molécule* ». Le constat concernant les biais énoncés au paragraphe précédent reste valable. Il a été un peu plus aisé pour les élèves de proposer des réponses correctes à cette question. Pour l'exemple associé, on note une baisse des réponses correctes des élèves qui proposent les réponses ci-après : « *solutions, solution de sulfate de cuivre* ». Dans la plupart des cas, les élèves ne proposent pas de réponses correctes (ayant un lien avec les ions, ou encore avec les corps contenus dans la solution de sulfate de cuivre (non visibles) illustrés par les documents à la disposition des élèves). Enfin, que ce soit pour la question 2 ou la question 2-1, les élèves des classes expérimentales, ne se démarquent pas de ceux des classes théoriques : le dispositif

d'expérimentation mis en place dans les classes expérimentales n'améliore pas les appréhensions des élèves sur le microscopique. Regardons la troisième question.

La troisième question porte sur les appréhensions des élèves sur le symbolique. Cette question ne devrait pas poser de soucis majeurs aux élèves, puisque le terme « *symbolique* » est très proche de « *symbole* », dont la fonction est de « *représenter* ». Ce n'est pas réellement le cas car nous notons des baisses de performances des élèves dans les classes théoriques entre le prétest et le post test. Il est difficile d'expliquer certaines mauvaises réponses des élèves puisque les exemples de symboles sont effectivement soumis aux élèves en tant que support de travail. En résumé, pour la troisième question, si les élèves de la classe de terminale D<sub>1</sub> expérimentale ne réussissent pas aussi bien que ceux de la classe théorique, ce n'est pas le cas pour les élèves des classes de terminales C et D<sub>2</sub> expérimentales qui réussissent plutôt mieux que ceux des classes théoriques : le dispositif d'expérimentation a amélioré leurs appréhensions sur le symbolique. Concernant l'exemple associé au symbolique, les élèves des classes de terminales D<sub>1</sub> et D<sub>2</sub> réussissent mieux que ceux des classes théoriques. Les élèves de la classe de terminale C théorique réussissent mieux que ceux de la classe de terminale C expérimentale ce qui peut s'expliquer par le fait que l'enseignant rend compte des phénomènes expérimentaux par des équations bilans. Le dispositif d'expérimentation améliore les appréhensions des élèves concernant l'exemple lié au symbolique.

Cette première catégorie de discussion nous a permis de mieux comprendre les appréhensions des élèves concernant la définition des niveaux de savoir. L'exploration des autres exemples de questions pourrait davantage illustrer ou mieux comprendre leurs appréhensions des niveaux de savoir et leur circulation entre ces niveaux.

## **14-2 Discussion portant sur les résultats de la quatrième question**

Cette question concerne les critères macroscopique et microscopique associés à l'éthanol. Lorsqu'on compare les analyses *a priori* et *a posteriori*, on se rend compte que même les élèves qui ont participé à l'expérimentation ont toujours des difficultés de choix des critères macroscopique et microscopique. En effet, que ce soit dans les classes expérimentales ou théoriques, la plupart des réponses sont incomplètes. Les élèves qui choisissent la réponse « *molécule* » attribuent un critère microscopique, tandis que ceux qui choisissent la réponse « *corps purs simple* », « *mélange* » ou encore « *corps purs composé* » sont au niveau

macroscopique. Dans la partie consacrée aux résultats, nous avons montré que très peu d'élèves réalisaient cette tâche. Les élèves qui choisissent la réponse « *mélange* », assimilent peut-être l'éthanol à une combinaison d'atomes et se situent au niveau microscopique, alors que ceux qui assimilent l'éthanol à une association de plusieurs corps purs se situe au niveau macroscopique. Ce constat concernant les confusions entre corps pur simple, corps pur composé est commun à celui relevé par Fillon (1997). Par ailleurs, pour les élèves qui emploient la réponse « *mélange* », nous pouvons faire un rapprochement avec les travaux de Canac (2018) pour le cas du CO<sub>2</sub> et du H<sub>2</sub>O, où elle dit que si les élèves utilisent « *mélange* » pour le CO<sub>2</sub> ou H<sub>2</sub>O c'est qu'ils ignorent la signification du corps pur composé et nous pouvons donc affirmer que les élèves restreignent le critère corps purs aux corps simples. Le dispositif d'expérimentation mis en place est sans effet dans les classes expérimentales puisque les résultats ne sont pas significatifs pour cette question. Nous ne pouvons pas parler de circulation entre les niveaux de savoir pour cette question au vu des résultats des élèves.

### **14-3 Discussion des résultats de la cinquième question**

La cinquième question porte sur les critères macroscopique et microscopique associés au dioxygène. Cela peut s'expliquer facilement puisque les élèves n'observent qu'un seul type d'atome dans la molécule. Ce point de vue est commun à celui relevé par Canac (2018) puisque les élèves choisissent aisément la réponse « *corps purs simples* » d'autres donnent majoritairement la réponse « *molécule* ». Très peu d'élèves assimilent le dioxygène à une molécule et à un corps pur simple à la fois. Les élèves qui parlent de molécule sont au niveau microscopique. Ceux qui parlent de corps purs sont au niveau macroscopique. Ceux qui emploient le terme molécule et corps purs sont à la fois au niveau macroscopique et au niveau microscopique. Le dispositif d'expérimentation mis en place est sans effet dans les classes expérimentales puisque les résultats ne sont pas significatifs pour cette question. Nous ne pouvons pas parler de circulation entre les niveaux de savoir pour cette question au vu des résultats.

### **14-4 Discussion des résultats de la sixième question**

La sixième question s'intéresse aux critères macroscopique, microscopique et symbolique de l'argent de formule chimique « *Ag* ». En dehors de la classe de terminale D<sub>2</sub> théorique, où l'on n'observe aucun choix des deux bonnes réponses, dans le reste des classes,

on note une évolution positive du nombre de réponses correctes. Cette évolution positive n'est significative qu'en terminale D<sub>1</sub> expérimentale et D<sub>2</sub> expérimentale. Les élèves qui choisissent « *atome* » se situent au niveau microscopique, ceux qui choisissent « *corps purs* » se situent au niveau macroscopique. Ceux qui font le choix « *atome* » et « *corps pur simple* » sont à la fois au niveau macroscopique et au niveau microscopique. On note cependant le choix de la réponse « *molécule* » par certains élèves. En effet, ces derniers assimileraient l'argent en termes de molécule car celle-ci résulte d'une juxtaposition des lettres « A » et « g », ce qui donne « Ag ». Pourtant « A » et « g » ne renvoient pas aux atomes. Cette erreur semble proche de celle relevée par Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2012), où les élèves ont du mal à décoder l'atome de sodium « Na », l'atome de chlore « Cl » et l'atome de zinc « Zn » car ces derniers comportent deux initiales. On pourrait néanmoins penser à la suite de Dehon (2018), que la formule chimique de l'argent serait peu connue des élèves tout de même comme celles du chlore, du sodium et du zinc. Il y a circulation entre les niveaux de savoir en classe de terminale D<sub>1</sub> et D<sub>2</sub> expérimentale au vu des résultats du dispositif d'expérimentation mis en place.

#### **14-5 Discussion des résultats de la septième question**

Pour la question numéro 7, on veut regarder les niveaux de savoir employés par les élèves. En effet, en dehors de la classe de terminale D<sub>1</sub> expérimentale, où les résultats ne sont pas significatifs, dans les deux autres classes ayant participé à l'expérimentation, on observe une utilisation plus large des niveaux de savoirs, puisque les résultats sont significatifs dans ces classes-là. Par ailleurs les élèves qui parlent des couleurs, des substances sont dans le descriptif « *niveau macroscopique* ». Ceux qui parlent des instruments du laboratoire sont dans « *le niveau empirique* » (monde des objets et des événements). Ceux qui parlent d'atomes, de molécules sont dans l'explicatif et ceux qui parlent de formules chimiques ou les écrivent sont dans le représentationnel (monde reconstruit théoriquement). Ces termes « *descriptif, explicatif, représentationnel* » sont des rôles attribués par Johnstone (1984) à chacun niveau du « *Chemistry triplet* ». Dans la plupart des cas les élèves emploient deux niveaux de savoir. Concernant les classes théoriques, les faibles performances s'expliquent puisqu'il est difficile par exemple de décrire les substances qu'on ne maîtrise pas, qu'on ne manipule pas. En résumé, il y a circulation entre les niveaux de savoir en classe de terminale C et D<sub>2</sub> expérimentale au vu des résultats du dispositif d'expérimentation mis en place.

#### **14-6 Discussion des résultats de la huitième question**

La question numéro 8 a un caractère descriptif. En effet, les élèves doivent décrire le protocole expérimental. Cette description du protocole expérimental met en avant les niveaux macroscopique et empirique, ce qui est d'ailleurs confirmé par les résultats puisque les élèves emploient majoritairement le niveau empirique. Ces derniers se situent effectivement dans le monde des objets et des événements. De plus, une expérimentation nécessite du matériel de laboratoire qui sont des « objets » et l'action de manipuler qui constitue un « événement ». Compte tenu du fait que « l'objet » et « l'action » relèvent du visible, cela aurait amené les élèves à être curieux durant l'expérimentation. Les résultats sont significatifs en classe de terminales C et D<sub>2</sub> expérimentales. Ces résultats obtenus dans ces classes sont confirmés puisque nous avons remarqué que la plupart des élèves se déplacent aisément entre le sommet (situation expérimentale) et le sommet (macroscopique) puisqu'ils observent les objets et les événements et les conceptualisent en termes de modèle au niveau macroscopique. Nous pouvons affirmer au vu des résultats du dispositif d'expérimentation qu'il y a circulation entre les niveaux de savoir en classe de terminale C et D<sub>2</sub> expérimentale.

#### **14-7 Discussion des résultats de la neuvième question**

Cette question tout comme la précédente s'intéresse aux différents niveaux de savoir employés par les élèves. Le caractère descriptif bien que mis en relation avec les autres (explicatifs...) est beaucoup plus attendu. Les classes ayant manipulé ne réussissent pas toujours, c'est ce qui justifie l'évolution qui n'est pas toujours significative pour valider les hypothèses de recherche. En effet, certains se limitent majoritairement au niveau empirique, d'autres se limitent au niveau macroscopique du tétraèdre. Dans ce cas on ne peut pas parler de circulation générale entre les niveaux de savoir si les élèves restent bloqués au sommet macro par exemple (Johnstone 1991). De plus, les élèves qui répondent correctement à la question utilisent davantage les niveaux de savoir (terminale C expérimentale) : d'où la circulation entre les niveaux de savoir uniquement en classe de terminale C expérimentale.

#### **14-8 Discussion des résultats de la dixième question**

Pour la question numéro 10, nous regardons le caractère représentatif grâce à une équation bilan. Il est difficile pour les élèves de la classe de terminale D1 expérimentale de

réaliser cette tâche malgré le dispositif mis en place. Contrairement aux élèves des autres classes théoriques, ceux de la classe de terminale D1 théorique se démarquent par leurs réponses correctes qui restent difficiles à expliquer. Cependant lorsqu'on regarde les exemples de réponses, on s'aperçoit que certains élèves ont du mal à écrire l'équation bilan de la réaction de saponification. Nous pourrions croire que cette difficulté réside dans les concepts tels qu'ester, alcool, acide... Bien que les résultats ne soient pas significatifs pour cette question, nous avons remarqué que certains élèves qui s'appuient sur la démarche recommandée au cours de l'ingénierie didactique se démarquent nettement de leurs camarades. Contrairement à Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2014) nous avons remarqué que les enseignants accordent peu d'importance au niveau microscopique. En effet, ces derniers s'intéressent beaucoup plus à la modélisation en reliant le niveau empirique (situation expérimentale) au niveau de conceptualisation macroscopique, puis du niveau de conceptualisation macroscopique au niveau de conceptualisation symbolique/visualisation. Ce constat n'est pas sans conséquence pour l'élève puisque les multiples facettes du tétraèdre ne sont pas prises en compte. Il s'agit de manière spécifique des arêtes (Em), (Mm) et (ms). Il serait intéressant de regarder comment les élèves modélisent leurs observations, ce qui pourrait les aider à circuler entre les différents niveaux de savoir puisqu'il n'y a pas de circulation entre les niveaux de savoir pour cette question.

#### **14-9 Discussion des résultats de la onzième question**

Pour la question numéro 11, on veut vérifier si les élèves sont capables de faire un récit du vécu expérimental à l'aide des schémas, que nous nommerons des modèles et qui permettent de rendre compte de la réalité. L'hypothèse de recherche est acceptée en classes de terminale C et D<sub>2</sub> expérimentales et rejetée en classe de terminale D<sub>1</sub> expérimentale. En effet, les élèves qui font des schémas, décrivent les contenus des béchers, parlent des molécules ou encore utilisent des formules chimiques sont bel et bien en train de circuler entre les niveaux de savoir. Cependant, pour certains élèves qui ont participé à l'expérimentation, on note des difficultés à s'appuyer sur le monde des objets et des événements pour reconstruire le monde des théories et des modèles. Enfin, au vu des résultats du dispositif d'expérimentation mis en place, nous pouvons affirmer qu'il y a circulation entre les niveaux de savoir en classe de terminale C et D<sub>2</sub> expérimentale.

## **14-10 Discussion portant sur la méthodologie : l'ingénierie didactique, outils de collecte des données**

Nous n'avons pas rencontré de difficulté dans la mise en place de l'ingénierie didactique : la saponification est une réaction facilement accessible expérimentalement. Le premier avantage de la réaction de saponification pour la recherche concerne le fait que, le savon se trouve dans le milieu de vie de l'élève, d'où son intérêt pour l'apprentissage. Le second avantage concerne le fait que le lycée dans lequel la recherche s'est déroulée étant équipé en infrastructures pour l'expérimentation, il a été aisé de mettre en place les travaux pratiques. Pour y parvenir, une ingénierie didactique conforme aux exigences de l'approche pédagogique en vigueur a été mise en place par le chercheur en collaboration avec les enseignants titulaires des classes de terminale. Cette approche pédagogique encore appelée « approche par les compétences » recommande l'introduction d'une leçon par une « situation problème » tirée de la vie courante. Le rôle de cette situation est de poser le problème qui sera résolu lors du déroulement de la leçon. Cependant, la mise en place du dispositif est quelquefois source d'énorme désaccord avec les enseignants puisque la planification annuelle des leçons ne prend pas en compte le temps alloué aux chercheurs. D'où le nombre très limité d'essai. Dans la mise en place de l'ingénierie didactique nous avons utilisé deux cadres théoriques (voir partie 2). Il existe plusieurs cadres théoriques (cadre théorique des niveaux de savoir). Cependant, certains se démarquent des autres (voir chapitre 5). Dans cette discussion, nous utiliserons simultanément la théorie des situations didactiques (voir chapitre 4) ainsi que la théorie des niveaux de savoir. La phase d'action de la théorie des situations didactiques correspond à la situation expérimentale du cadre théorique de Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2014). Les élèves font face à un problème, et disposent en même temps d'outils nécessaires à la résolution du problème. Dans la phase de formulation, les élèves manipulent en se servant du protocole expérimental. Pour notre étude, lorsque l'élève parle des objets du laboratoire (bécher, spatule...) il se situe au niveau empirique. Lorsqu'il parle du nom des substances (palmitine, soude...) il effectue la première étape de la modélisation macroscopique. Lorsque l'élève remplace le nom des substances par leur formule chimique correspondante, il se déplace vers le niveau symbolique/ visualisation. Conformément au cadre théorique de Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2014) il s'agit de la deuxième étape de la modélisation. Il a été difficile pour bon nombre d'élèves d'associer la palmitine à sa formule chimique sans intervention de l'enseignant. Le rôle de l'enseignant a consisté dans ce cas à prendre conscience des difficultés

des élèves et de les aider à circuler entre différents niveaux (après le TP) afin que ces derniers puissent employer la terminologie scientifique appropriée (Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2012). Cette intervention de l'enseignant est une étape de la remédiation elle se déroule après les phases d'action, de formulation et de validation. Durant la phase de remédiation, l'enseignant aide les élèves à modifier leurs schèmes assimilateurs afin qu'ils puissent produire de nouveaux instruments cognitifs appropriés. Ce qui n'est pas toujours le cas dans cette étude puisqu'une partie des élèves ayant participé à l'expérimentation ont toujours du mal à distinguer les niveaux de savoir d'où le recours à une nouvelle activité de remédiation (annexe 15). Outre l'ingénierie didactique, mise en place, des tests (prétest, compte rendu guidé, post test) ont été mis en place. Cependant, il a été difficile de prendre en compte les données issues du compte rendu guidé, puisque nous n'avons pas trouvé les moyens de comparaisons de ces résultats : ils pourront constituer l'objet d'une recherche future.

#### **14-11 Conclusion : bilan des discussions pour l'ensemble des deux questionnaires**

Ce chapitre était nécessaire pour des clarifications non seulement sur les résultats de la recherche, mais également sur la méthodologie de la recherche. Dans certaines classes expérimentales, même si les résultats ne sont pas significatifs, on note néanmoins des améliorations. Comme précisé durant la discussion il est difficile d'expliquer le cas où les classes théoriques proposent des résultats meilleurs que ceux des classes expérimentales. Nous avons relevé des difficultés persistantes des élèves concernant les critères empirique, macroscopique, microscopique ou encore symbolique/visualisation relatifs à certains corps. Les résultats ont montré que les élèves qui manipulent utilisent un registre plus large des niveaux de savoir en général. En conséquence, ils les distinguent et circulent davantage entre eux que les élèves n'ayant pas manipulés. Les élèves qui parlent des « *instruments du laboratoire* » ou encore des « *corps purs* » sont dans le monde des objets et des événements ceux qui parlent des « *molécules* » ou encore ceux qui font des schémas (modélisation) se situent dans le monde des théories et des modèles (monde reconstruit théoriquement). Enfin, le niveau microscopique est très peu et rarement employés par les élèves que ce soit ceux des classes théoriques ou ceux des classes expérimentales. Cet emploi minoritaire du niveau microscopique montre que les élèves ne parviennent pas toujours à expliquer la réaction chimique en termes d'arrangement des atomes malgré l'ingénierie didactique mise en place. Par ailleurs, lorsqu'on jette un regard aux appréhensions des enseignants sur les niveaux de savoir, on se rend compte

que ces niveaux sont peu maîtrisés par les enseignants. Le programme de chimie ne les spécifie pas en termes de niveau de savoir, justifiant ainsi que les enseignants ne les prennent que partiellement en compte au cours des apprentissages. On comprend qu'il serait difficile pour un enseignant d'aider les élèves à circuler entre les niveaux de savoir en se référant au programme en vigueur. D'où l'emploi minoritaire et très peu diversifié des niveaux de savoir par les élèves dans la plupart des classes théoriques. Au regard des résultats obtenus malgré le fait qu'on ne note pas de résultats significatifs pour l'ensemble des classes expérimentales, nous pouvons affirmer que le dispositif d'expérimentation portant sur la saponification améliore partiellement la distinction des niveaux empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation de la chimie. Par ailleurs, malgré l'ingénierie didactique mise en place, les plages horaires accordées pour cette recherche n'étant pas suffisantes pour mener à bien toutes nos investigations compte tenu de la crise, nous avons proposé une activité de remédiation (Annexe 15) permettant de renforcer la circulation des élèves entre les niveaux de savoir.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail a porté sur l'impact d'un dispositif d'expérimentation portant sur la saponification sur la distinction des niveaux empirique, macroscopique, microscopique et symbolique de la chimie. Deux questions ont guidé les investigations : quelles sont les origines des difficultés rencontrées par les apprenants au cours de la circulation des niveaux de savoir ? Quel peut être l'impact d'une ingénierie didactique portant sur la saponification sur la distinction des niveaux de savoir. L'ingénierie didactique d'Artigue (1988) a été utilisée comme méthodologie de la recherche. Pour y parvenir, nous avons effectué plusieurs analyses.

### **1-une analyse préalable (une analyse des programmes de chimie du collège, du lycée puis une analyse des appréhensions des enseignants sur les niveaux de savoir)**

Dans l'analyse des programmes des collèges puis des lycées, les difficultés suivantes ont été relevées :

- l'absence de spécification des savoirs en termes de niveaux dans les programmes de chimie,
- l'absence de formulation correcte des travaux pratiques dans le programme,
- l'inexistence d'un guide accompagnateur pouvant aider l'enseignant à mieux réaliser sa tâche,
- la mauvaise formulation des contenus en général ne facilitant pas un regard à quatre niveaux (empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation),
- le passage brutal de l'expérience à l'écriture de l'équation bilan de la réaction chimique sans modélisation.

Dans l'analyse des appréhensions des enseignants, les éléments suivants ont été relevés :

- une moitié des enseignants interrogés ont du mal à dire avec précision ce qu'ils entendent par macroscopique, microscopique. Le cas du symbolique est une exception,
- La plupart des enseignants qui appréhendent bien les niveaux de savoir soulignent l'importance que pourrait avoir les activités expérimentales sur la distinction des niveaux de savoir,

- les enseignants sont conscients de l'absence de spécification des savoirs en termes de niveau dans le programme, ce qui justifierait une prise en compte partielle au cours des apprentissages.

## **2- Une analyse a priori : le prétest**

Un prétest a été mis en place afin de prendre en compte les appréhensions des élèves sur les niveaux de savoir. De nombreux dysfonctionnements ont été relevés chez les élèves :

- une maîtrise partielle des termes macroscopique, microscopique et symbolique. En effet, nous avons remarqué durant les analyses que ce soit en classe expérimentale ou en classe théorique, que lorsqu'un élève donnait la définition du macroscopique, du microscopique ou du symbolique, il n'était pas toujours en mesure de donner un exemple approprié,

- des confusions entre atomes et molécules (niveau microscopique), En effet, les résultats des différentes classes ont montré que certains élèves assimilent le dioxygène comme un atome et l'argent comme une molécule,

- des confusions entre corps purs simples, corps purs composés et mélanges (niveau macroscopique), en effet l'analyse des résultats des différentes classes permet de relever que : une première partie des élèves voit l'éthanol comme un corps pur simple, une seconde partie des élèves voit le dioxygène comme un corps pur composé, enfin, une troisième partie des élèves considère l'argent comme un corps pur composé,

- des difficultés de passage du niveau symbolique /visualisation au niveau microscopique ou macroscopique,

- l'usage limité des niveaux de savoir par les élèves.

## **3-Une conception, des essais, des révisions et une implémentation de l'outil didactique**

Une ingénierie didactique basée sur une circulation entre les niveaux de savoir a été mise en place en s'appuyant sur la théorie des situations didactiques et la théorie des niveaux de savoir de Dumon et Mzoughi-khadhraoui (2014). Une fois conçue, le dispositif a subi plusieurs essais et révisions afin qu'il soit le plus adapté aux besoins des élèves. Le rôle de l'ingénierie est de faciliter la distinction des niveaux de savoir ou encore l'usage d'un registre plus large des niveaux de savoir par les élèves. Les élèves ont eu l'occasion de manipuler et de

circuler entre les niveaux de savoir durant les travaux pratiques portant sur la saponification. Un post test a été réalisé afin de permettre une comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* dont les résultats sont énoncés ci-dessous.

#### **4-Comparaison des analyses a priori et a posteriori**

Dans les classes ayant participé à l'expérimentation, nous avons noté :

- une évolution des appréhensions des élèves par rapport à ceux des classes théoriques,
- des difficultés persistantes au niveau de l'association des critères empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation relatifs à une entité chimique,
- une utilisation plus large des niveaux de savoir dans la plupart des cas.

Dans les classes théoriques, nous avons noté :

- une absence d'évolution des appréhensions des élèves concernant les niveaux de savoir,
- des difficultés au niveau de l'association des critères empirique, macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation relatif à une entité chimique,
- une utilisation moins large des niveaux de savoir par les élèves.

#### **5-Des difficultés d'ordre institutionnel**

Cette tâche n'a pas été réalisée sans difficulté :

- nous avons eu recours à l'administration car il a été très difficile pour les enseignants titulaires des classes de terminale de céder certaines de leurs heures de cours pour la présente recherche. Ceci étant dû à la réduction des plages horaires à cause de la pandémie,
- Il a été difficile quelquefois pour certains élèves et enseignants de remplir le questionnaire puisque ces derniers n'avaient pas de motivation pour la participation à la recherche.

## 6-Quelques limites

Ce travail, comme toute entreprise humaine, ne saurait être parfaite, elle présente en effet quelques limites qu'on n'a pas pu prendre en compte à cause des difficultés relevées précédemment :

- Suite aux différentes analyses, nous nous sommes rendu compte que la tournure de certaines questions pourrait être améliorée mais, à cause de la pandémie, nous n'avons pas pu recommencer,
- il est difficile pour l'élève d'expliquer ce qui se passe au niveau microscopique notamment le processus de formation des molécules sans utilisation des animations (un schéma particulière qui faciliterait un déplacement entre les niveaux de savoir),
- il est difficile de prendre en compte toutes les difficultés relevées dans l'analyse de programmes et dans la littérature : on ne saurait embrasser le vaste espace de la didactique de la chimie.

## 7- Quelques suggestions

### 7-1 Aux concepteurs des programmes scolaires de chimie

Les difficultés relevées dans la partie intitulée analyses préalables (programme scolaire) ne sont pas dans le but à remettre en cause l'usage des programmes actuels, mais de l'améliorer afin de garantir une éducation de qualité pour les élèves. L'absence de spécification et de recommandation forte de l'expérimentation dans les programmes constitue un obstacle majeur dans l'apprentissage. En effet, les activités expérimentales sont très peu mises en avant au cours des enseignements, pourtant la chimie est une science à la fois théorique et pratique. De plus, ces activités expérimentales faciliteraient le déplacement entre les niveaux de savoir qu'il est important de spécifier dans le programme. Cette mise en place des activités expérimentales est d'autant plus justifiée car la comparaison des analyses *a priori* et *a posteriori* montre que les élèves des classes expérimentales circulent mieux entre les niveaux de savoir par rapport à ceux des classes théoriques. Par ailleurs, la spécification des savoirs dans le programme en termes de niveaux permettrait non seulement aux enseignants de prendre en compte l'aspect descriptif, l'aspect explicatif et l'aspect représentatif dans l'apprentissage, mais aussi, cela rendrait

l'apprentissage de la chimie plus complète. Il serait davantage intéressant de mieux structurer le programme afin de faciliter l'enchaînement des savoirs.

## 7-2 Aux élèves et aux enseignants de chimie

Le dispositif mis en place représente une contribution pour l'apprentissage de la saponification. Il a été conçu suite aux différentes remarques concernant l'apprentissage de la saponification et de nombreux concepts de la chimie. Le point de vue de Tiberghien (1995), qui précise que les niveaux peuvent être considérés dans l'activité du scientifique (niveau empirique, niveau théorique, et les modèles) a été pris en compte. Par ailleurs, le rôle de l'enseignant d'après Mzoughi-Khadhraoui et Dumon (2012), est d'aider les élèves à prendre conscience des différents niveaux, à circuler d'un niveau de savoir à un autre, afin qu'ils puissent argumenter, poser des questions en utilisant la terminologie scientifique appropriée. Pour Fillon (1997), la tâche de l'enseignant consiste à faciliter la transition d'un niveau d'interprétation du savoir à un autre. Cette transition ne saurait être possible sans une connexion du niveau empirique au niveau théorique *via* les modèles. Ces modèles ont une fonction plus large et facilitent la circulation entre les niveaux de savoir *via* la description, la représentation et l'explication des phénomènes chimiques.

## 7-3 Aux chercheurs en didactiques

Cette thèse s'inscrit dans la continuité de la recherche en didactique. De nombreuses difficultés ont été relevées dans la revue de la littérature. Dans le cadre des suggestions, on s'intéressera à un aspect clé (les niveaux de savoir) :

- nous recommandons aux chercheurs d'explorer les différentes facettes du « *Chemistry triplet* » depuis ses origines afin d'aider les enseignants à mieux choisir le modèle des niveaux de savoir adapté aux besoins des élèves,
- le niveau symbolique nécessite une étude plus approfondie puisqu'il véhicule des informations permettant de passer d'un niveau de savoir à un autre,
- certains atomes Cl, Na, Ag, compte tenu de l'usage de deux initiales dans leurs formules chimiques, ne sont guère favorables à la circulation entre les niveaux de savoir, puisque bon nombre d'élèves les assimilent à des molécules,

- les contraintes de temps dues à la pandémie n'ont pas facilité la recherche de manière à prendre en compte l'aspect microscopique par des animations ainsi que sa conception au niveau macroscopique et symbolique. Une telle prise en compte rendrait les analyses peut être plus complète.

## BIBLIOGRAPHIE

Alvaro, P. (1997). Échantillonnage et recherche qualitative essai théorique et méthodologie, les classiques des sciences sociales, p7-82.

Andreani, J.C. & Conchon, F. (2005). Méthodes d'analyse et d'interprétation des études qualitatives : état de l'art en marketing, p1-23.

Artigue, M. (1988). Ingénierie didactique. Recherches en didactique des mathématiques, vol. 9, n°3, p. 281-308. Abraham M., Grzybowski E., Renner J. & Marek E. (1992). Understandings and misunderstandings of eighth graders of five chemistry concepts found in textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, vol.29,n°2,p.105120.<https://doi.org/10.1002/tea.3660290203>.

Abraham, M., Williamson, V. & Westbrook, S. (1994). A cross-age study of the understanding of five chemistry concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 31, n°2, p.147–165. <https://doi.org/10.1002/tea.3660310206>.

Al-Kunifed, A., Good, R. & Wandersee, J. (1993). *Investigation of high school chemistry students' concepts of chemical symbol, formula and equation: students' prescientific conceptions*. (ERIC Document, ED376020).

Anderson, B. (1990). Pupul's conceptions of matter and it transformations age (12-16). *Studies in Sciences of Education*, n°18, p.53-85.

Arasasingham, R., Taagepera, M., Potter, F., & Lonjers, S. (2004). Using knowledge space theory to assess student understanding of stoichiometry. *Journal of Chemical Education*, vol. 81, n°10, p.1517-1523.<http://dx.doi.org/10.1021/ed081p1517>.

Bachelard, S. (1979). Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles. Dans P. Delattre et M. Thellier(dir.), *Elaboration et justification des modèles* (pp.3-19). Paris, FR : Maloine S. A.

Barlet, R. & Plouin, D. (1994). L'équation-bilan en chimie. Un concept intégrateur source de difficultés persistantes. *Aster*, n°18, p. 2755.<https://doi.org/10.4267/2042/8597>.

Barlet, R. & Plouin, D. (1997). « La dualité microscopique-macroscopique. Un obstacle sous-jacent aux difficultés en chimie dans l'enseignement universitaire. » *ASTER* 25: 143-174.

- Barlet, R. (1999). L'espace épistémologique et didactique de la chimie. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 93(817), 1423-1448.
- Bayle, L. (2000). Initiation aux méthodes des sciences sociales, p 2-370.
- Benseghir, A. (2004) Séquence d'enseignement de l'électricité construite à partir de données épistémologiques et didactiques : compte rendu d'innovation, *Didaskalia*, 24, pp 133-149.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B.S. & Silberstein, J. (1987). Students' visualisation of a chemical reaction. *Education in Chemistry*, vol. 24, n°4, p. 117–120.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B.S. & Silberteïn, J. (1982). Student conception of gas and solids. Difficulties to function in a multi-atomic context. Paper present in *NARST conference*.
- Berelson, B. (1952), *Content Analysis in Communication Research*, The Fee Press.
- Berthelot, M. & Péan, S. G. (1862). Recherches sur les affinités de la formation et de la décomposition des éthers, Paris Mallet bachelier.
- Bim@th (2022). La bibliothèque des mathématiques en ligne, consulté le 5 Avril 2022, <http://www.bibmath.net>
- Brousseau, G. (1997), Théories des situations didactiques, Conférence de Montréal, [http://math.unipa.it/~grim/brousseau\\_montreal\\_03.pdf](http://math.unipa.it/~grim/brousseau_montreal_03.pdf).
- Brousseau, G. (1998), Théorie des Situations Didactiques, La pensée sauvage. Cet ouvrage contient les principaux articles parus avant 1990. Son organisation suit celle de la traduction en anglais d'une sélection des travaux de Brousseau.
- Calmels, C. & Wiltner, F. (1947). Manuel pratique du Savonnier. Librairie Bernard Tignol, Bibliothèque des activités industrielle N°13, Paris IRIS-LILLIARD-Université Lille 1.
- Canac, S., & Kermen, I. (2016). Exploring the mastery of French students in using basic notions of the language of chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, vol.17, n°3, p 452-473.
- Canac, S. (2017). Le langage symbolique de la chimie en tant que méta-niveau entre registre empirique et registre des modèles : une problématique de l'enseignement-apprentissage de chimie (Thèse de doctorat). Université Sorbonne Paris Cité.

Canac, S. (2020). Registre symbolique de la chimie 2 /2 : difficultés d'apprentissage. *Culture sciences chimie. Enseignement de la chimie* p. 3-9.

Carretto, J., Viovy, R. (1994). Réaction chimique. Aster N°18, INRP rue d'Ulm 75230 paris Cedex 05, p. 5-20

Cazalet, E. & Chen, L.Y. (1993). Comparaison de deux modèles d'enseignement de la chimie en 5ème URL : <http://journals.openedition.org/trema/2336> ; DOI : 10.4000/trema.2336. Tréma [En ligne], 3-4 | 1993, mis en ligne le 01 mai 1993, consulté le 01 mai 2019.

Chastrette, M. & Cros, D. (1985) Enquête sur la maîtrise de la notion de mole entre 16 et 20 ans, *L'actualité chimique* p. 69-76.

Chevallard, Y. (1982). *Pourquoi la transposition didactique ?* Communication au Séminaire de didactique et de pédagogie des mathématiques de l'IMAG, Université scientifique et médicale de Grenoble. Paru dans les *Actes* de l'année 1981-1982, p. 167-194.

Chevallard, Y. (2009). *La notion d'ingénierie didactique, un concept à refonder*. Cours donné dans le cadre de la 15e école d'été de didactique des mathématiques, Clermont-Ferrand, 16-23 août 2009, [en ligne] disponible sur <http://yves.chevallard.free.fr>.

Coquidé, M. (2003). Face à l'expérimental scolaire. In J. P. Astolfi (Dir.), *Éducation, formation : Nouvelles questions, nouveaux métiers* (pp. 153-180). ESF.

Cormier, C. (2014). Étude des conceptions alternatives et des processus de raisonnement des étudiants de chimie du niveau collégial sur la molécule, la polarité et les phénomènes macroscopiques. Thèse de doctorat, Université de Montréal. p. 3-232.

Couty, P. (1983). Qualitatif et Quantitatif. Photo documentaire N° 15290, p.37- 45.

De Ketele, J-M. Paquay, L. & Crahay, M. (2010) L'analyse qualitative en éducation, des pratiques de recherches aux critères de qualité, Hommage à Michael Huberman, 2<sup>e</sup> édition revue et actualisée, préface de Bruno Marc édition de boeck, p 14-31.

Dehon, J. & Snauwaert, P. (2011). *Vers une nouvelle approche de l'apprentissage de l'équation de réaction*. Journées d'étude S-TEAM, Université de Namur. Retrieved from <https://pure.fundp.ac.be/ws/portalfiles/portal/13256633>.

Dehon, J. & Snauwaert, P. (2015) « L'équation de réaction : une équation à plusieurs inconnues – Étude de productions d'élèves de 16 – 17 ans (grade 11) en Belgique francophone ». *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 12, p. 209-235.

Dehon, J. (2018). « L'équation chimique, un sujet d'étude pour diagnostiquer les difficultés d'apprentissage de la langue symbolique des chimistes dans l'enseignement secondaire belge, développement d'une séquence de leçons en s'appuyant sur un modèle des niveaux de signification ». Thèse de doctorat, université de Namur, p.84-112.

De Vecchi, G. (1990). *La construction du savoir scientifique passe par une suite de ruptures et de remodelages*, Etudes et recherches 35, Laboratoire de Didactique et d'Epistémologie des Sciences de l'Université de Genève. p 35-46.

Dumon, A. & Mzoughi-Khadhraoui, I. (2012). L'appropriation par des élèves tunisiens débutants du langage permettant de représenter la réaction chimique. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (6), 89-118.

Dumon, A. & Mzoughi-Khadhraoui, I. (2014). Teaching chemical change modelling to Tunisian students: an « expended chemistry triplet » for analysing teachers' discourse. *Chemistry Education Research and Practice*, vol.15, n°1, p.70-80.<http://dx.doi.org/10.1039/C3RP00126A>.

Fensham, P. J. (2002). Implications, large and small, from chemical education research for the teaching of chemistry. *Química nova*, vol .25, n°2, p. 335–339.

Fillon, P. (1997). Des élèves dans un labyrinthe d'obstacles. *Aster*, (25), 113-141.

Fridel, A.W. & Maloney, D.P. (1992). An exploratory classroom-based investigation of student's difficulties with subscripts in chemical formulas. *Science Education*, vol. 76, n°1, p. 65-78.<http://dx.doi.org/10.1002/sce.3730760106>.

Gilbert, J.K. & Treagust, D. (2009). Towards a coherent model for macro, submicro and symbolic representations in chemical education, dans Gilbert, John & Treagust, David (dir.), *Multiple representations in chemical education* (p. 1-8). Dordrecht: Springer.

Giordan, A. (1999). *Une didactique pour les sciences expérimentales*, Editeur : Belin, Collection : Guide de l'enseignement p 1-239.

Gruson, C. (2012). L'expérimentation scientifique permet-elle le développement de l'esprit critique de l'élève ? Mémoire de master2 spécialité professorat des écoles, Institut Universitaire de formation des maitres Ecole interne de l'université d'Artois, p 3-36.

Houart, M. (2009). 'Etude de la communication pédagogique à l'université à travers les notes et les acquis de étudiants à l'issue du cours magistral de chimie. Thèse de doctorat.', Namur. p.19-40. <http://hdl.handle.net/2078.2/22713>.

Johnstone, A.H. (1982). Macro- and microchemistry. [Notes and correspondence], *School ScienceReview*, vol. 64, n°227, p. 377-379.

Johnstone, A.H. (1984). New stars for the teacher to steer by? *Journal of Chemical Education*, vol.61, n°10, p. 847-849. <http://dx.doi.org/10.1021/ed061p847>.

Johnstone, A.H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, n°7, p. 75-83. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>.

Justi, R. & Gilbert, J. (2000). History and philosophy of science through models: Some challenges in the case of atom. *International Journal of Science Education*, 22(9),993-1009.

Kane, S. (2011). « Les pratiques expérimentales au lycée-regard croisés des enseignants et de leurs élèves ». Laboratoire de Didactique des Sciences Expérimentales (LARDISE), Faculté des Sciences et Technologies de l'Education et de la Formation (FASTEF), Université Cheikh Anta Diop, Dakar– Sénégal. [salkane@refer.sn](mailto:salkane@refer.sn)

Kavula, M. (2019). « Analyse du curriculum de chimie organique en 4e année scientifique et proposition de mise en place d'une ingénierie didactique pour un meilleur apprentissage. » Faculté des sciences. Université pédagogique nationale, Kinshasa, R. D. Congo. *European Journal of Education Studies*, p. 177.

Keig, P. F. & Rubba, P. A. (1993). Translation of representations of the structure of matter and its relationship to reasoning, gender, spatial reasoning, and specific prior knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 30, n°8, p. 883–903.

Kermen, I. & Méheut, M. (2009). Different models used to interpret chemical changes: analysis of a curriculum and its impact on French students' reasoning. *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 10, n°1, p. 24-34. <http://dx.doi.org/10.1039/B901457H>.

Kuzniak, A. (2004), La théorie des situations didactiques de Brousseau. Exposé à l'IREM de Strasbourg.

Lafarge, D. (2010). « Analyse didactique de l'enseignement-apprentissage de la chimie organique jusqu'à bac+2 pour envisager sa restructuration. Education. » Université Blaise Pascal -Clermont-Ferrand II, French. <tel-00578419v1>.

Lafont, F. (2020). Méthode d'échantillonnage aléatoire et non aléatoires. [blog.question.fr](http://blog.question.fr) . Consulté le 25mars 2022.

Larcher, C., Chomat, A. & Lineatte, C. (1994). D'une représentation à une autre pour modéliser les transformations de la matière au collège. *Aster*, n° 18, p. 119-139. <http://dx.doi.org/10.4267/2042/8602>.

Larousse. (2022). symbolique, macroscopique, microscopique, dispositif. Dictionnaire en ligne consulté le 20 Janvier 2022 sur <https://www.larousse.fr/dictionnaire/français>.

Laugier, A. & Dumon, A. (2000). Travaux pratiques en chimie et représentation de la réaction chimique par l'équation-bilan dans les registres macroscopique et microscopique : une étude en classe de seconde (15-16 ans). *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, vol. 1, n° 1, p. 61-75.

Laugier, A. & Dumon, A. (2004). L'équation de réaction : approche historique et didactique de la modélisation de la transformation chimique. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, vol. 98, p. 1131-1144.

Lavoisier, A.-L. (1789). *Traité élémentaire de chimie*. Paris: Cuchet Librairie, reproduction de l'édition originale, Culture et Civilisation, Bruxelles, 1965, Librairie Blanchard, Paris.

Loi n° 98 / 004 du 14 Avril 1998 D'orientation de l'Éducation au Cameroun.

Marais, P. & Jordaan, F. (2000). Are we taking symbolic language for granted? *Journal of Chemical Education*, vol. 77, n°10, p. 1355–1357. <http://dx.doi.org/10.1021/ed077p1355>.

Martinand, J.-L. (1992). Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences. Présentation. In *équipe INRP / LIREST*, Paris: INRP.

Martinand, J.-L. (1994). Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en science. Paris, FR :INRP.

Martinand, J. L. (1996). Introduction à la modélisation. Actes du séminaire des didactiques des disciplines technologiques. Cachan 1994-95, p. 126-138.

Martinand, J.-L. (2002) Apprendre à modéliser, dans Toussaint, Rodolphe (dir.), *Changement conceptuel et apprentissage des sciences: recherches et pratiques* (p. 47-68). Outremont: Logiques.

Marzin, P. Triquet, E. & Combaz, B. (2003). Apprendre à reconnaître les arbres en CM2 : La situation de jeu « Florex » : compte rendu d'innovation, *didaskalia*, 2003 117-136.

Ministère des enseignements secondaires Cameroun. (2014). Inspection générale des enseignements, Programme d'étude de 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> sciences. p. 1-23.

Ministère des enseignements secondaires Cameroun. (2014). Inspection générale des enseignements, Programme de Physique - Chimie - Technologie de l'Enseignement Secondaire Général classes de 4<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> p.1-57.

Ministère des enseignements secondaires Cameroun. (2018). Inspection générale des enseignements, Programme d'étude provisoire de chimie de 2<sup>nde</sup> C. p.1-14.

Ministère des enseignements secondaires Cameroun. (2019). Inspection générale des enseignements, Programme d'étude provisoire de chimie de 1<sup>ère</sup> C, D . p.1-10.

Ministère des enseignements secondaires Cameroun. (2019). Inspection générale des enseignements, Programme d'étude provisoire de chimie de Tle C, D . p.1-15.

Molvinger-Verger, K. (2011). Approche du concept de masse volumique à l' école primaire. Mémoire de Master 2 Recherche Université Montpellier 2, Université Claude Bernard Lyon 1, École Normale Supérieure-Lettres et Sciences humaines Mention "Histoire, Philosophie et Didactique des Sciences", p. 6-80.

Mulford, D.R. & Robinson, W.R. (2002). An inventory for alternate conceptions among first semester general chemistry students. *Journal of Chemical Education*, vol. 79, n°6, p. 739-744. <http://dx.doi.org/10.1021/ed079p739>.

Mzoughi-Khadhraoui, I. & Dumon, A. (2012). L'appropriation par des élèves tunisiens débutants du langage permettant de représenter la réaction chimique. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, n°6, p. 89-118.

Nakhleh, M.-B. (1992). Why some Students Don't Learn Chemistry. Chemical misconceptions. *Journal of Chemical Education*, vol.69, p.191-196.

Nkeck Bidias, R, S. (2013). *Eveil scientifique et technologique à l'école maternelle : de l'expression orale à la construction des savoirs*. Revue Petite Enfance N° 00 p 82-104.

Nurrenbern S. & Pickering M. (1987). Concept learning versus problem solving: Is there a difference? *Journal of Chemical Education*, vol. 64, n°6, p. 508-510. <http://dx.doi.org/10.1021/ed064p508>.

Rebaud, D. (1994). Enseignement et réaction chimique. La réaction chimique, *aster*, vol.18, p.3-9.

Roletto, E. & Piacenza, B. (1994). La réaction chimique, Aster N°18, INRP, 29, rue d'Ulm,75230, Paris, cedex, p 64-74

Roy, P. & Hasni, A. (1994). Les modèles et la modelisation vus par les enseignants de sciences et technologies du secondaire au Québec. *McGILL Journal of education* -vol .49 N°2 spring

Savoy, L.G. & Steeples, B. (1994). Concept hierarchies in the balancing of chemical equations. *Science Education Notes*, n° 75, p. 97-103.

Schmidt, H-J. (1990). Secondary school student's strategies in stoichiometry. *International Journal of Science Education*, vol .12, n° 4, p. 457-471.

Smith, K.J. & Metz, P.A. (1996). Evaluating student understanding of solution chemistry through microscopic representations. *Journal of Chemical Education*, vol. 73, n°3, p. 233-235. <http://dx.doi.org/10.1021/ed073p233>.

Solomonidou, C. (1991). Comment se représenter les substances et leurs interactions. Thèse, p .255. Paris VII.

Soury-Lavergne, S. (2010), Introduction à la théorie des situations didactiques, Master EADM UE10, Institut national de recherche pédagogique.

Stavridou, H. & Solomonidou, C. (1989). Physical phenomena- Chemical phenomena: Do pupils make the distinction? *International Journal of Science Education* n°11 p.83-92.

Stavridou, H. (1990). Le concept de réaction chimique dans l'enseignement secondaire. Etude des conceptions des élèves. Thèse, Paris VII.

Strauss, M. (1986). Symbolism, science and developing minds. *Journal of College Science Teaching*, 15, 190-195.

Taber, K.S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 14, n°2, p. 156-168. <http://dx.doi.org/10.1039/C3RP00012E>.

Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: the many faces of the chemistry “triplet”. *International Journal of Science Education*, vol. 33, n°2, p. 179-195. <http://dx.doi.org/10.1080/09500690903386435>.

Taskin, V. & Bernholt, S. (2014). Students' understanding of chemical formulae: a review of empirical research. *International Journal of Science Education*, vol. 36, n°1, p. 157-185. <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2012.744492>.

Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analysing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, 4(1),71-87.

Tiberghien, A., Psillos, D. & Koumaras, P. (1995). Physics instruction from epistemological and didactical bases. *Instructional Science*, vol. 22, n° 6, p. 423-444. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00897977>.

Thémines, J, F. (2016) : la didactique de la géographie, *Revue française de pédagogie*, 197, 99-136.

Yarroch, W.L. (1985). Students' understanding of chemical equation balancing. *Journal of Research in Science Teaching*, vol.22, n° 5, p.449-459.  
<http://dx.doi.org/10.1002/tea.3660220507>.

Zarrouk, F. (2012). Cours (7) de statistique à distance, ISSEP, Ksar-Said p. 1-5

# **ANNEXES**

## ANNEXE 1 : COURS THÉORIQUE PORTANT SUR LA SAPONIFICATION

L'expérience montre que cette réaction est lente et athermique. Elle est limitée par la réaction inverse appelée **hydrolyse de l'ester\*** qui se produit dans les mêmes conditions. On aboutit à un **équilibre chimique\*** qui se traduit par une **double flèche**. Le mélange réactionnel contient alors les quatre composés : acide, alcool, ester et eau, dans des proportions bien définies, variables avec la classe de l'alcool.

L'équation-bilan générale s'écrit donc :



• Exemple :



acide éthanoïque + éthanol

éthanoate d'éthyle + eau

Par l'élévation de la température ou l'utilisation d'un catalyseur (exemple :  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), on peut rendre l'estérification plus rapide, sans modifier l'équilibre chimique.

La réaction des esters sur les bases fortes telles que la soude ou la potasse conduit à un **carboxylate de sodium** ou de **potassium** suivant la réaction d'équation-bilan générale :



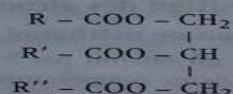
ester base

ion carboxylate

Cette réaction appelée **réaction de saponification\*** est lente mais totale. Elle présente une application importante : la **fabrication des savons\***, d'où le nom de **saponification** donné à cette réaction.

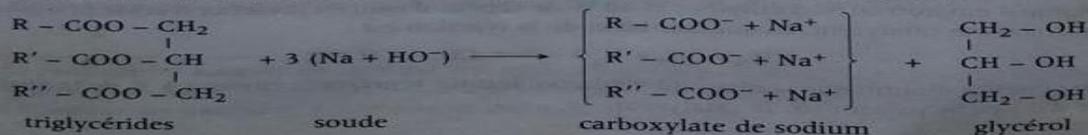
Les savons sont des carboxylates de sodium ou de potassium, obtenus par saponification des **corps gras**. Les **corps gras** (graisses animales ou végétales), encore appelés triglycérides, sont en effet, des **triesters d'acides gras** et du glycérol (ou propan-1, 2, 3 - triol)  $\text{HOCH}_2\text{CHOCH}_2\text{OH}$ .

La formule générale des triglycérides ou **corps gras** est :



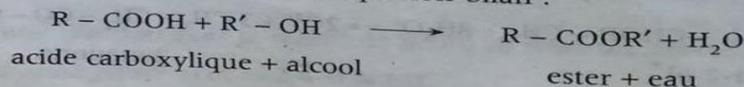
Les radicaux R, R' et R'' sont des chaînes carbonées linéaires saturées ou insaturées possédant de 4 à 22 atomes de carbone.

L'équation-bilan de saponification des triglycérides par la soude s'écrit donc :



### 5-4 Estérification\*

L'**estérification** est l'action d'un acide carboxylique sur un alcool. Elle conduit à la formation d'un ester et de l'eau, suivant l'équation-bilan :



## ANNEXE 2 : GRILLE D'OBSERVATION

A l'aide de cette grille, nous voulons vérifier si les élèves parviennent à établir les liens entre le visible et l'invisible ; une fois le lien établi, nous vérifions la démarche qui conduit à la modélisation du phénomène expérimental et sa conversion en langage chimique. Il est important de préciser le fait que la présente grille intervient en tant que complément d'information du prétest.

<b>Élève</b>	<b>Manipule ?</b>	<b>Observe les changements de couleur ? ou d'aspect (macro)</b>	<b>Associe les couleurs aux espèces chimiques ? parle de molécules, atomes... (micro)</b>	<b>Distingue le visible de l'invisible ? (distinction macro/micro)</b>	<b>Ecris une équation chimique ?</b>
<b>Elève1</b>					
<b>Elève2</b>					
<b>Elève3</b>					
<b>Elève4</b>					
<b>Elève5</b>					
.....					
.....					

### ANNEXE 3 : COMPTE RENDU GUIDÉ

*« Dans le cadre d'un travail de recherche sur l'enseignement de la chimie, nous vous invitons à remplir ce questionnaire. Il vise à comprendre et à améliorer l'enseignement de la chimie. Pour cela nous avons besoin que vous répondiez à ce questionnaire de manière individuelle. Les réponses seront strictement confidentielles, seuls les chercheurs y auront accès. »*

**Vous avez réalisé la réaction de saponification, vous avez fait certainement de nombreuses observations. A l'aide de ce document anonyme et individuel, qui n'est d'ailleurs pas une évaluation, nous attendons en quelque sorte un récit des situations vécues au cours de l'expérimentation.**

- 1. Envisager le protocole expérimental en décrivant le matériel et les substances à utiliser**

.....

.....

.....

.....

.....

- 2- Décrivez au maximum, ce dont vous avez observé au cours de la réaction (les réactifs utilisés, le produit obtenu de même que la démarche d'obtention de ce produit)**

.....

.....

.....

.....

.....

- 3- Comment peut-on interpréter le phénomène observé ?**

.....

.....

.....

.....

.....

- 4-Reproduisez l'expérience à l'aide d'un schéma tout en notant à chaque étape les changements observés.**

.....

.....  
.....  
.....  
.....

**5- Vous allez mettre en présence les réactifs. D'après vous que va-t-il se passer ?  
(Confrontez vos résultats à ceux obtenus par vos camarades)**

.....  
.....  
.....

**6- Vos camarades ont obtenu des résultats expérimentaux différents des vôtres ; êtes-vous d'accord avec eux ? justifiez votre réponse en décrivant vos résultats, celui de vos camarades tout en argumentant au maximum.**

.....  
.....  
.....  
.....

## ANNEXE 4 : MODULE 1 DU PROGRAMME DE CHIMIE DE LA CLASSE DE SECONDE FRANCOPHONE

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
Constitution chimique des corps de l'environnement	Modélisation d'un atome	Détermination de la structure d'un atome	Déterminer les constituants d'un atome	1- Le noyau atomique 1-1-Mise en évidence du noyau atomique. 1.2-Structure de l'atome. - Dimension, masse et constitution du noyau atomique. -Ordre de grandeur des dimensions de la masse de l'atome et de son noyau -Nombre de charge ; nombre	* Mettre en évidence le noyau (expérience de Rutherford)  Déterminer la masse d'un noyau atomique à partir du nombre de protons et du nombre de neutrons. -Déterminer le nombre de charge du noyau et	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	

Programme de chimie de l'Enseignement Secondaire Général

Classe de 2<sup>nd</sup> C

Page 6 sur 14

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
				de masse. - Représentation symbolique d'un noyau atomique. -Isotopes	le nombre de masse * Représenter un nucléide Reconnaître les isotopes d'un nucléide. * Identifier des isotopes à partir d'une liste de nucléides	décision et esprit critique	
Constitution chimique des corps de l'environnement	Utilisation d'un tableau de classification périodique des éléments.  Modélisation d'une molécule  Déterminer le	Exploitation d'un tableau de classification périodique  Détermination de la structure d'une molécule;	Déterminer la structure électronique d'un atome  -Lire un tableau périodique des éléments.  - Utiliser des modèles moléculaires.  -Représenter la structure d'une molécule	2- Structure électronique des atomes -Charge et masse de l'électron - Répartition des électrons autour du noyau. - Règle de remplissage des couches électroniques - Structure de Lewis. -Règle du duet et de l'octet - Application à la formation des ions monoatomiques 3- Classification périodique des éléments - Principe de construction de la classification et intérêt. - Groupe, période 4- Molécule et notion de volume molaire -Liaison covalente. Exemple dans les molécules simples -Existence des autres types de liaison chimiques (surtout ionique) -valence d'un atome -Représentation d'une	Déterminer la structure électronique d'un atome à partir de son numéro atomique.           Écrire la représentation de Lewis des atomes des 18 premiers éléments.    Écrire la formule développée et la représentation de Lewis de quelques molécules Utiliser la règle de l'octet. -Représenter les structures géométriques de quelques molécules Réaliser avec des	-Pensée créatrice ; -Raisonnement logique ; -Méthode dans l'action ;	Tableau périodique des éléments    Modèles moléculaires

Programme de chimie de l'Enseignement Secondaire Général

Classe de 2<sup>nd</sup> C

Page 7 sur 14

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
Constitution chimique des corps de l'environnement	volume d'un corps gazeux connaissant la température et la pression	Détermination d'un volume molaire	Utiliser un volume molaire	molécule (Formules, Schéma de Lewis) - Atomicité, -Structure géométrique d'une molécule. - Volume molaire - Loi de Avogadro-Ampère - Loi des gaz parfaits	modèles moléculaires la représentation des molécules simples en modèles compacts et éclatés (H <sub>2</sub> , Cl <sub>2</sub> ; O <sub>2</sub> ; H <sub>2</sub> O ; N <sub>2</sub> ; NH <sub>3</sub> ; CO <sub>2</sub> ; CH <sub>4</sub> )		
Constitution chimique des corps de l'environnement	Caractériser un composé ionique	Détermination de la structure d'un composé ionique	Déterminer la formule statistique d'un composé ionique	5-Structure de quelques composés ioniques -Structure du chlorure de sodium, -Définition d'une maille, -Formule statistique de quelques composés ioniques	-Représenter géométriquement la maille du chlorure de sodium ; - Déterminer la formule statistique de quelques solides ioniques.	Développement de l'habileté manuelle	Modèles moléculaires
Solutions aqueuses autour de nous	Étiquetage des produits	Caractérisation des ions	Identifier les ions -Utiliser le protocole de recherche des ions dans une solution.	6- Caractérisation de quelques ions -Méthode générale d'identification et exemples. -Tests d'identification de quelques anions et cations.	- Expériences : tests d'identification des ions (test à la flamme, réactions de précipitation, redissolution) Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , S <sup>2-</sup> , Ag <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , Zn <sup>2+</sup> , Cu <sup>2+</sup> , Al <sup>3+</sup> , Ba <sup>2+</sup> , Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup> . -Écrire les équations-bilans de précipitation des ions métalliques		- Verrerie (bêcher, fiole jaugée, éprouvette graduée, Bec Bunsen, indicateurs colorés, Papier pH, solutions acides et basiques de produits naturels,
	Recherche des éléments contenus dans un composé organique	Analyser un composé chimique	-Différencier un composé ionique d'un composé organique	7-Introduction à la chimie organique -Définition -Importance -Principe de l'analyse élémentaire pour les	-Réaliser une expérience de mise en évidence de C ; O ; N ; H	Développer : - l'esprit critique ; - la curiosité ; - le sens de l'observation ; - la rigueur dans	Réactifs et mise en évidence

Programme de chimie de l'Enseignement Secondaire Général

Classe de 2<sup>nd</sup> C

Page 8 sur 14

## ANNEXE 5: MODULE 2 DU PROGRAMME DE CHIMIE DE LA CLASSE DE SECONDE SCIENTIFIQUE

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
Solutions aqueuses autour de nous	Préparation d'une solution commerciale ;	Détermination des grandeurs caractéristiques des solutions	-Préparer une solution aqueuse ;	1-Généralités sur les solutions aqueuses -La molécule d'eau : structure, pouvoir solvant,		- 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	Exemples d'actions	Savoirs	Savoir-faire	Savoir-être	Autres ressources
Solutions aqueuses autour de nous	Préparation d'une solution saturée	Détermination de la nature d'une solution  Préparation de solutions	-Déterminer la concentration molaire d'une solution ; -Utiliser les effets thermiques de dissolution ;  Réalisation d'une dilution  -Utiliser les propriétés acides d'une solution  -Utiliser des indicateurs colorés	-Dissolution dans l'eau des solides ioniques : exemples et définition de solutions ioniques - Rôle du solvant et effets thermiques ;  - Grandeurs caractéristiques : concentrations massique et molaire, solubilité, saturation. -Electro neutralité d'une solution -dilution  2 - Solutions acides, basiques et neutres.  2.1- Solutions aqueuses acides - Chlorure d'hydrogène (gaz chlorhydrique) - Structure. - Propriétés physiques. - Acide chlorhydrique. - Ion hydronium. - Concentration molaire en ion hydronium. - Propriétés acides liées à l'ion hydronium - Réaction de caractérisation de l'ion chlorure. - Définition générale d'un	Expérience : dissolution de solides ioniques, dilution, préparation de solutions.  Expérience : mise en évidence des effets thermiques. Expérience : solubilité et saturation.  Expériences : Catégorisation de solutions À partir d'un indicateur coloré Identifier le caractère acide d'une solution.  -Mettre en évidence les propriétés de l'ion hydronium - Écrire les équations-	- 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 ;  Prendre des mesures de sécurité pour la consommation et l'utilisation des produits acides et basiques  Utiliser raisonnablement les produits chimiques	- Verrerie (bêcher, fiole jaugée, éprouvette graduée, Bec Bunsen , solutions acides et basiques de produits naturels

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
Solutions aqueuses autour de nous				acide d'après Bronsted - Acides courants et produits naturels acides : Acide nitrique, sulfurique, acétique ; Jus de foléré, de tamarin, de citron	bilans des différentes réactions chimiques de l'acide chlorhydrique. Sur les métaux (zinc ; fer, aluminium) - Expériences : propriétés de l'acide chlorhydrique. - Test d'identification de l'ion chlorure avec le nitrate d'argent -Vérification de quelques propriétés des acides.		
	Étiquetage des produits ;	Détermination des grandeurs caractéristiques des solutions	- Utiliser les propriétés basiques d'une solution ;  - Utiliser des indicateurs colorés	2.2- Solutions aqueuses basiques. - Structure de l'hydroxyde de sodium. - Solution aqueuse d'hydroxyde de sodium. - Propriétés liées à l'ion hydroxyde. - Définition générale d'une base - Bases courantes et bases tirées des produits locaux : Hydroxyde de potassium, Hydroxyde de calcium, Ammoniac, les solutions de lessive, cendre, et craie	Expériences : - catégorisation de solutions à l'aide d'un indicateur coloré. - Préparation d'une solution d'hydroxyde de sodium. - Identifier l'ion Na <sup>+</sup> - Expériences : propriétés de la soude (test à la flamme, indicateurs colorés, action sur les acides, réactions de précipitation, redissolution de	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 ; -Pensée créatrice ;	- Verrerie (bêcher, fiole jaugée, éprouvette graduée, Bec Bunsen, Indicateurs colorés, Papier pH solutions basiques de produits naturels,

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
					Al(OH) <sub>3</sub> et Zn(OH) <sub>2</sub> Vérification de quelques propriétés des bases.		
Solutions aqueuses autour de nous	utilisation d'un produit acide ou basique ;  Étiquetage des solutions	Détermination de la nature d'une solution  Détermination de la concentration d'une solution	Utiliser le produit ionique de l'eau - Mesurer le pH des solutions acides, basiques et neutres  - Utiliser la calculatrice pour le calcul des pH ; - Doser une solution.  Titrer une solution de base à partir d'une solution acide de concentration	- Autoprotolyse de l'eau, produit ionique de l'eau  <b>3- Notion de pH</b> - Relation $[H_3O^+] = 10^{-pH}$ . - Mesure : le pH-mètre. - Domaine de pH d'une solution acide. - Domaine de pH d'une solution basique. - Indicateurs colorés : zone de virage. - Teintes acide, basique, sensible. - Papier pH. - indicateurs naturels.  <b>4- Dosage d'une solution d'acide chlorhydrique par la soude</b> - Equation-bilan - Equivalence acido-basique	Déterminer le produit ionique de l'eau  - Utiliser un pH-mètre, un papier-pH. - Mesurer le pH d'une solution - Utiliser la relation $[H_3O^+] = 10^{-pH}$ . Utiliser la relation $pH = -\log_{10}[H_3O^+]$ - Utiliser les domaines de pH des solutions acide, basique et neutre. - Passer de $[H_3O^+]$ à la concentration Ca de l'acide. - Passer de $[HO^-]$ à la concentration Cb de la base. - Utiliser un indicateur coloré. - Citer quelques indicateurs colorés. - Réaliser un dosage acido-basique. - Calculer la concentration d'une	Raisonnement logique ; - Méthode dans l'action ; - Développement de l'habileté manuelle	- Verrerie (bêcher, fiole jaugée, éprouvette graduée .....  Bec Bunsen ,  Indicateurs colorés,  Papier pH solutions acides et basiques de produits naturels,  Burette, bêcher, erlenmeyer. Kit de chimie

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
			connue		entité à partir d'un dosage, en appliquant la relation : $C_1V_1 = C_2V_2$ .		

# ANNEXE 6 : MODULE 1 DU PROGRAMME DE CHIMIE DE LA CLASSE DE 1<sup>ère</sup> C, D ET E

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 cyclanes 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 $n \leq 5$ - Ecrire les formules semi-développées et développées des alcanes et les nommer  - Réaliser la combustion d'alcane dans le dioxygène, dans le dichlore. - Ecrire 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

Programme de chimie des classes de premières C et D

Page 5 sur 10

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. - Configuration spatiale. 2.2- Formules générales, formules développées et semi-développées ; règle de nomenclature des alcènes et des alcyne, isomérisie Z et E. 2.3- Propriétés chimiques : - Combustion. - Réactions d'addition : hydrogénation, hydratation, addition du chlore, 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  - Ecrire les formules semi-développées et développées des alcènes et alcyne et les nommer  - Ecrire 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.		

Programme de chimie des classes de premières C et D

Page 6 sur 10

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 - Isomérisie : 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 DNPH. - 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 DNPH, au réactif de Schiff et à la liqueur de Fehling - Ecrire 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 substitués du benzène. - Citer quelques composés à noyau aromatique. - Nommer les composés aromatiques. - Ecrire 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

## ANNEXE 7 : MODULE 2 DU PROGRAMME DE CHIMIE DE LA CLASSE DE PREMIÈRE C, D ET E

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-Généralités 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 chlorhydrique et sulfurique dilués 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 <sup>2+</sup> , Zn <sup>2+</sup> , Fe <sup>2+</sup> .....)	- 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 <sub>2</sub> O <sup>+</sup> /H <sub>2</sub> -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 <sup>2+</sup> /Mn et H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> /H <sub>2</sub> -Etablir une classification des couples oxydant-réducteur et placer le couple H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> /H <sub>2</sub> 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	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  -Electrolyse :	-Ecrire les demi-équations électroniques et les équations-bilan d'oxydoréduction avec les couples : MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> /Mn <sup>2+</sup> , Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> /Cr <sup>3+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /NO , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /SO <sub>2</sub> , Fe <sup>3+</sup> /Fe <sup>2+</sup> , Cl <sub>2</sub> /Cl <sup>-</sup> , S <sub>4</sub> O <sub>6</sub> <sup>2-</sup> /S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , I <sub>2</sub> /I <sup>-</sup> -Identifier ces couples dans la classification -Schématiser et décrire le dispositif expérimental du dosage -Effectuer le dosage d'une solution d'ions Fe <sup>2+</sup> par une solution d'ions MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> et savoir repérer le point d'équivalence. -Doser une solution de diode par une solution d'ions S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -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
Prévision des réactions chimiques	rouille  Préparation de l'acide sulfurique	Utilisation des nombres d'oxydation	-Réaliser une combustion  -Equilibrer une équation-bilan en utilisant les nombres d'oxydation	-Réaction aux électrodes. -Règle de prévision. -Phénomène de surtension -Aspects quantitatifs de l'électrolyse. -Corrosion et protection des métaux  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)	aqueuse de HCl, NaCl, NaOH, CuSO <sub>4</sub> -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  - 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 - Ecrire 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 ;	

## ANNEXE 8 : MODULE 1 DU PROGRAMME DE CHIMIE DE LA CLASSE DE TERMINALE C, D ET E

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
Gestion des composés oxygénés et azotés	Obtention de l'éthanol	Réactivité et synthèse des composés oxygénés	Réaliser une oxydation des vapeurs d'éthanol par le permanganate de potassium	<p>1-Propriétés Chimiques des alcools</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- réaction avec le sodium,</li> <li>- Déshydratation (inter et intra moléculaire)</li> <li>-Oxydation (combustion et oxydation ménagée)</li> <li>-Esterification (définition, caractéristiques)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Écrire l'équation-bilan de la réaction d'un alcool avec le sodium</li> <li>-Mettre en évidence la mobilité de l'hydrogène du groupe fonctionnel des alcools</li> </ul> <p>Réaliser l'expérience de la lampe sans flamme puis, Identifier les produits de cette réaction.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Réaliser l'oxydation ménagée de chaque classe d'alcool et</li> <li>Réaliser l'oxydation ménagée des aldéhydes</li> <li>-Écrire les équation-bilans de ces réactions.</li> <li>-Écrire l'équation-bilan de l'estérification.</li> <li>-Écrire l'équation d'hydratation d'un alcène et celle de la fermentation alcoolique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La curiosité et le sens de l'observation ;</li> <li>- Le respect des avis des autres ;</li> <li>- L'ouverture d'esprit ;</li> <li>- L'esprit d'équipe, de coopération ;</li> <li>- Prise de décision et esprit critique ;</li> </ul>	modèles moléculaires
		Réactivité et synthèse des composés oxygénés	Réaliser une fermentation anaérobie	<p>- Préparation des alcools (par hydratation d'un alcène, par fermentation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Écrire l'équation-bilan de l'estérification.</li> <li>-Écrire l'équation d'hydratation d'un alcène et celle de la fermentation alcoolique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La curiosité et le sens de l'observation ;</li> <li>- Le respect des avis des autres ;</li> <li>- L'ouverture d'esprit ;</li> <li>- L'esprit d'équipe, de coopération ;</li> <li>- Prise de décision et esprit critique ;</li> </ul>	modèles moléculaires
Gestion des composés oxygénés et azotés		Réactivité et synthèse des composés oxygénés		<p>2- Les acides carboxyliques</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Définition et formule générale</li> <li>-Structure du groupe carboxyle</li> <li>-Nomenclature des acides carboxyliques et leurs dérivés.</li> <li>-Propriétés physiques</li> <li>Température de changement d'état, solubilité dans l'eau</li> </ul> <p>Propriétés chimiques</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Propriété acide</li> <li>-Formation des chlorures d'acyle</li> <li>-Formation d'anhydrides d'acide</li> <li>-esterification</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Écrire les formules semi-développées des monoacides saturés et insaturés ainsi que les polyacides.</li> <li>-Nommer les acides carboxyliques</li> <li>-Expliquer les propriétés physiques des acides carboxyliques par l'existence des liaisons hydrogène.</li> <li>-Écrire les équations-bilans des réactions suivantes:</li> <li>-Action de l'eau sur un acide carboxylique.</li> <li>-Formation des dérivés des acides carboxyliques</li> <li>-Synthèse des esters à partir des chlorures d'acyles et des anhydrides d'acides.</li> <li>-Formation des polyesters et des polyamides. (exemple du nylon 6,6 et du tégol)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La curiosité et le sens de l'observation ;</li> <li>- Le respect des avis des autres ;</li> <li>- L'ouverture d'esprit ;</li> <li>- L'esprit d'équipe, de coopération ;</li> <li>- Prise de décision et esprit critique ;</li> </ul>	modèles moléculaires
Gestion des composés	Obtention du nylon 6,6. Obtention du						

Page 7 sur 15

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
oxygénés et azotés	tergal.	Réactivité et synthèse des composés oxygénés	Réaliser une estérification	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formation d'amides.</li> <li>-Réactions de polycondensation</li> <li>-Définir saponification</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Décrire la fabrication du savon à partir du glycérol et un acide gras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La curiosité et le sens de l'observation ;</li> <li>- Le respect des avis des autres ;</li> <li>- L'ouverture d'esprit ;</li> <li>- L'esprit d'équipe, de coopération ;</li> <li>- Prise de décision et esprit critique ;</li> </ul>	pictogramme
	Fabrication d'un savon			<p>3- Les amines</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Structure de la molécule d'ammoniac et passage aux amines.</li> <li>-Définition et formule générale</li> <li>-Les classes d'amines</li> <li>-Nomenclature</li> <li>-Propriétés physiques</li> <li>Etat physique, solubilité dans l'eau.</li> <li>-Propriétés chimiques</li> <li>Caractère basique</li> <li>Caractère nucléophile et électrophile</li> <li>Réaction Hofmann</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Écrire les formules semi-développées et identifier les trois classes d'amines.</li> <li>-Nommer les amines</li> <li>- Expliquer les propriétés physiques des amines par l'existence des liaisons hydrogène</li> <li>-Mettre en évidence le caractère nucléophile des amines.</li> <li>- Écrire l'équation-bilan de la réaction de l'eau sur une amine.</li> <li>-Écrire les équations –bilans des réactions suivantes:</li> <li>-Action d'une amine sur un dérivé halogéné et application aux réactions d'Hofmann.</li> <li>-Action d'une amine sur un chlorure d'acyle (préparation des amides)</li> </ul>		
Gestion des composés oxygénés et azotés	Besoin d'une protéine		Réaliser une réaction de Hoffmann	<p>4- Les acides-<math>\alpha</math>-aminés</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Définition formule générale</li> <li>-Nomenclature</li> <li>- Propriétés chimiques</li> <li>Propriétés acido-basiques (définir Amphion ou zwitterion et le représenter)</li> <li>Liaison peptidique</li> <li>Formation des polypeptides notamment les protéines.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Écrire la formule générale d'un acide <math>\alpha</math>-aminé.</li> <li>-Identifier un carbone asymétrique dans une molécule d'acide <math>\alpha</math>-aminé.</li> <li>-Faire la représentation de Fisher d'une molécule d'acide <math>\alpha</math>-aminé.</li> <li>-Identifier la configuration L et la configuration D d'une molécule d'acide <math>\alpha</math>-aminé.</li> <li>-Écrire les équations –bilans mettant en évidence le caractère acide et le caractère basique de l'amphion.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La curiosité et le sens de l'observation ;</li> <li>- Le respect des avis des autres ;</li> <li>- L'ouverture d'esprit ;</li> <li>- L'esprit d'équipe, de coopération ;</li> <li>- Prise de décision et esprit critique ;</li> </ul>	Pictogrammes
Gestion			Réaliser une				

Page 8 sur 15

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
des composés oxygénés et azotés	Choix d'un stéréoisomère  Comparaison de deux énantiomères	Réactivité et synthèse des composés azotés  Synthèse des polypeptides  Représentation structurales et spatiales des isomères	réaction de condensation de deux acides alpha aminés  Différencier deux isomères de fonction	5-Stereochimie 5-1 isomérisation de constitution Isomérisation, isomérisation de chaîne Isomérisation de position Isomérisation de fonction 5-2 stéréoisomérisation -stéréochimie, stéréoisomérisation, carbone asymétrique, Chiralité des molécules, énantiomère, isomérisation optique Activité optique, polarisation de la lumière -diastéréoisomère)  -Stéréoisomère de conformation 5-4 Importance de la stéréoisomérisation	-Ecrire l'équation-bilan mettant en évidence l'équilibre entre la forme moléculaire et la forme ionique d'un acide $\alpha$ -aminé. -Identifier la liaison peptidique au sein d'une molécule.  -Nommer les peptides. -Ecrire l'équation-bilan de la réaction de formation d'un dipeptide. -Décrire à l'aide des équations-bilans appropriées les différentes étapes de la synthèse d'un dipeptide.  -Faire la représentation conventionnelle des molécules en perspective - Représenter les énantiomères en perspective et en représentation de Fischer. -Discerner les énantiomères des diastéréoisomères - Faire la représentation de Newmann des conformations (formes éclipsées, décalée, chaise, bateau)	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 ;  - prise de décision et esprit critique;	Modèles moléculaires  picogrammes

## ANNEXE 9 : MODULE 2 DU PROGRAMME DE CHIMIE DE LA CLASSE DE TERMINALE C, D

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 acido-basiques	-Lecture et interprétation chimique d'un résultat d'analyses médicales	Structure et propriétés des acides et bases autour de nous	-Reconnaitre un acide et une base selon Bronsted -Préparer une solution diluée à partir d'une solution concentrée	1-Généralités sur les acides et bases en solution aqueuse. 1-1 La molécule d'eau: structure et pouvoir solvant. 1-3 Autoprotolyse de l'eau, produit ionique 1-3 pH: définition, Mesure, pH des solutions neutres, acides et basiques. -Utiliser le papier pH et les indicateurs colorés.	Ecrire l'équation-bilan de l'autoprotolyse de l'eau -Trouver les concentrations des ions en solution connaissant son pH ;pKa -Savoir faire les approximations (espèces majoritaires, minoritaires, ultra minoritaires.) -Calculer le pH d'une solution donnée et déduire son caractère acide, neutre ou basique.  -Préparer un indicateur coloré	-sens de l'observation  - curiosité -sens de l'interprétation, d'analyse et de synthèse. -esprit d'Ary-ipe -sens de l'écoute	- Verrierie (bêcher, fiole jaugée, éprouvette graduée ..... Bec Bunsen , Indicateurs colorés, Papier pH, solutions acides et basiques de produits naturels,
Prévision des réactions acido-basiques	-Interprétation des valeurs du pH des produits usuels	Structure et propriétés des acides et bases autour de nous	utiliser un indicateur coloré				
Etude et Prévision des réactions acido basiques	.Classification des acides et de base en fonction de leur caractère acide  Identification d'une base faible	Equilibres acido basiques	Utiliser des tableaux de couples acido-basiques  Déterminer expérimentalement la constante d'acidité d'un	-2-Force d'un acide et d'une base. Notion de couple acide/base 2-1 pH et concentration d'une solution d'hydroxyde de sodium. Notion de base forte 2-2 pH et concentration d'une solution d'acide chlorhydrique. Notion d'acide fort. 2-3 Etude d'un acide faible: acide éthanoïque 2-4 Etude d'une base faible: éthanoate de sodium. 2-5 Etude de l'équilibre	- Montrer la force de certains acides et de certaines bases.  -Montrer qu'un acide fort ou une base forte sont totalement ionisés en solution à partir de la valeur de leur pH et de la concentration.  -A travers l'étude d'un acide faible ou d'une base faible, montrer que ces espèces chimiques ne sont pas totalement ionisées en solution en vous	- L'esprit d'équipe, de coopération ; - Prise de décision et esprit critique ; -Pensée créatrice ; - Raisonement logique ; Méthode dans l'action ; - Développement de l'habileté manuelle ;	- Verrierie (bêcher, fiole jaugée, éprouvette graduée ..... Bec Bunsen , Indicateurs colorés, Papier pH, solutions acides et basiques de produits naturels

Page 11 sur 15

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
Etude et Prévision des réactions acido basiques	Détermination du degré alcoolique dans le vinaigre	Equilibres acido basiques	couple acide-base  Déterminer expérimentalement la constante d'acidité d'un couple acide-base  Réalisation d'un dosage pH métrique. Réalisation d'un dosage colorimétrique.	d'ionisation. Notion de couple acide /base Exemples 2-6 Constante d'équilibre des réactions acide/base 2-6 -1 Constante d'acidité Ka, constante de basicité Kb, 2-6-2 Relation entre pH et PKa. Classification des couples acide/base. Domaine de prédominance des formes acide et basique.  3-Réactions Acide/ Base. Application aux dosages 3-1 Réaction entre un acide fort et une base forte -Etude de la réaction -caractéristiques -dosage : pH- métrique et colorimétrique d'un acide fort par une base	appuyant sur le pH et la concentration de la solution. -Partir de la valeur du pH et la concentration de la solution pour déterminer les concentrations des différentes espèces chimiques présentes en solution. -Montrer que la dissolution dans l'eau d'un acide faible conduit à un équilibre chimique. -Utiliser la notion d'avancement d'une réaction pour étudier un équilibre chimique.  -Identifier un couple acide/base à partir de l'équation matérialisant un équilibre chimique.  -Faire une classification des couples acide/base en fonction soit des Ka ou des pKa . Etablir la relation entre pH et pKa et en déduire les domaines de prédominance des formes acide et basique  -Déterminer le coefficient d'ionisation d'une substance donnée.  Etudier la réaction entre : a)une solution d'acide chlorhydrique et une solution de soude. b) une solution d'acide éthanoïque et une solution d'hydroxyde de sodium c)une solution d'acide chlorhydrique et une solution d'ammoniac.	L'esprit d'équipe, de coopération ; - Prise de décision et esprit critique ; -Pensée créatrice ; - Raisonement logique ; Méthode dans l'action ; - Développement de l'habileté manuel	- Verrierie (bêcher, fiole jaugée, éprouvette graduée ..... Bec Bunsen , Indicateurs colorés, Papier pH, solutions acides et basiques de produits naturels

Page 12 sur 15

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
	<p>Vérifier l'étiquette d'une solution commerciale</p> <p>Utilisation d'une solution tampon</p>	Dosages acido-basiques	Doser une solution basique	<p>forte et réciproquement.</p> <p>-Ecrire l'équation-bilan de la réaction de dosage.</p> <p>-Définir équivalence acido-basique.</p> <p>-</p> <p>3-2 Réaction entre un acide faible et une base forte</p> <p>3-3 Réaction entre un acide fort et une base faible</p> <p>3-4 Solutions tampons</p> <p>-Définition</p> <p>-Propriétés</p> <p>-préparation</p> <p>-importance</p>	<p>N.B. Pour chacun des cas ci-dessus,</p> <p>-Etudier les variations du pH en fonction du volume de base ou d'acide versé.</p> <p>- Tracer la courbe <math>\text{pH} = f(V_b)</math> ou <math>\text{pH} = f(V_a)</math></p> <p>-Déterminer graphiquement le point de demi-équivalence.</p> <p>-Déterminer graphiquement le point équivalent par la méthode des tangentes.</p> <p>-Expliciter la relation entre les quantités de matière à l'équivalence.</p> <p>-Faire un choix judicieux de l'indicateur coloré.</p> <p>-</p> <p>Préparer une solution tampon de <math>\text{pH} = \text{p}K_a</math></p>	<p>L'esprit d'équipe, de coopération ;</p> <p>- Prise de décision et esprit critique ;</p> <p>-Pensée créatrice ;</p> <p>-</p> <p>Raisonnement logique ;</p> <p>Méthode dans l'action ;</p> <p>-</p> <p>Développement de l'habileté manuel</p>	<p>- Verrerie (bêcher, fiole jaugée, éprouvette graduée .....)</p> <p>Bec Bunsen, indicateurs colorés, Papier pH, solutions acides et basiques de produits naturels</p>

## ANNEXE 10 : MODULE 3 DU PROGRAMME DE CHIMIE DE LA CLASSE DE TERMINALE

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
Étude cinétique des réactions	Réaliser une réaction rapide	Étude des réactions lentes	<p>Réaliser une réaction rapide action des ions argent sur les ions chlorure,</p> <p>Réaliser la réaction entre les ions iodure et les ions peroxydisulfate. -Tracer la courbe donnant la variation de la concentration du diiode formé en fonction de la concentration des ions peroxydisulfate -Déterminer à partir de cette courbe la vitesse moyenne et vitesse instantanée de formation du produit (diiode). Montrer que: les ions <math>Fe^{2+}</math> augmentent la vitesse de la réaction ci-dessus,</p>	<p>Notion de cinétique chimique 1-Exemples de réactions -Rapides, - Lentes -Très lentes.</p> <p>2 Vitesse de réactions. 2-1 Vitesse de formation d'un produit. -Définir la vitesse moyenne et la vitesse instantanée de formation d'un produit donné.</p> <p>2-2 Vitesse de disparition d'un réactif. -Définir la vitesse moyenne et la vitesse instantanée de disparition d'un réactif donné.</p> <p>3 Influence de différents facteurs sur la vitesse</p>	<p>-Réaliser une réaction lente: Formation de la rouille ou toute autre réaction de corrosion. -Réaliser une réaction très lente.</p> <p>Étudier la réaction entre les ions iodure et les ions peroxydisulfate</p> <p>Étudier d'autres réactions lentes</p> <p>Tracer les courbes de formation des produits et de disparition des réactifs</p> <p>- Faire l'étude cinétique d'une réaction d'estérification Exemple : réaction entre l'acide éthanóique et l'éthanol</p>	<p>-Raisonnement logique ; Méthode dans l'action ; -la patience ; -la persévérance ; -esprit critique ; -Respect des règles de sécurité lors de l'utilisation des antiseptiques et désinfectants usuel -Respect de l'environnement -Esprit de tolérance et sens de contradiction ; -Sens critique ; - Ouverture sur l'extérieur</p>	

Page 14 sur 15

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
Étude cinétique des réactions	Réaliser une réaction lente	Étude des facteurs cinétiques	<p>le pH augmente la vitesse de la réaction de synthèse de l'eau</p> <p>Déterminer expérimentalement les vitesses des réactions</p> <p>Vérifier que la courbe obtenue est décroissante et tend vers la même asymptote que celle obtenue lors de l'estérification ci-dessus. -Vérifier également que l'on atteint rapidement cette asymptote en augmentant la température, en utilisant un catalyseur approprié ou en faisant varier la concentration des réactifs</p>	<p>d'une réaction.</p> <p>3-1 Influence de la température.</p> <p>3-2 Influence des concentrations.</p> <p>3-3 Les catalyseurs. définir: -Catalyseur -Catalyse homogène -Catalyse hétérogène -Catalyse enzymatique -Accélérateur de réaction -Inhibiteur de réaction -Quelques propriétés des catalyseurs.</p> <p>4 Application à la réaction d'estérification.</p> <p>5- Hydrolyse d'un ester</p>	<p>-Montrer que l'on peut rapidement atteindre l'équilibre chimique en augmentant la température du milieu réactionnel, en faisant intervenir un catalyseur approprié ou en faisant varier la concentration des réactifs.</p> <p>- Faire l'étude de la réaction d'hydrolyse d'un ester. Exemple : réaction d'hydrolyse de l'éthanoate d'éthyle</p> <p>-Montrer que lorsqu'on atteint l'équilibre chimique, les vitesses de formation et de disparition de l'ester se compensent.</p>		

## ANNEXE 11 : ATTESTATION DE RECHERCHE

<p>REPUBLIQUE DU CAMEROUN ***** Paix – Travail – Patrie ***** UNIVERSITE DE YAOUNDE I ***** FACULTE DES SCIENCES DE L'EDUCATION ***** CENTRE DE RECHERCHE ET DE FORMATION DOCTORALE EN SCIENCES HUMAINES, SOCIALES ET EDUCATIVES ***** UNITE DE RECHERCHE ET DE FORMATION DOCTORALE EN SCIENCES DE L'EDUCATION ET INGENIERIE EDUCATIVE ***** DEPARTEMENT DE DIDACTIQUES DES DISCIPLINES</p>		<p>REPUBLIC OF CAMEROON ***** Peace – Work – Fatherland ***** UNIVERSITY OF YAOUNDE I ***** FACULTY OF EDUCATION ***** POSTGRADUATE SCHOOL FOR THE SOCIAL AND EDUCATIONAL SCIENCES ***** DOCTORAL RESEARCH UNIT FOR EDUCATION SCIENCES AND EDUCATIONAL ENGINEERING ***** DEPARTMENT OF DIDACTICS</p>
---	---	--

Le Doyen  
The Dean  
N° 001.../21/UYI/VDSSE

### AUTORISATION DE RECHERCHE

Je soussigné (e), Professeur Moïse MOUPOU, Doyen de la Faculté des Sciences de l'Education de l'Université de Yaoundé I, certifie que l'étudiant (e) Eric Martial NGUETCHO Matricule 14R3906 est inscrit (e) en Doctorat PhD : à la Faculté des Sciences de l'Education, Département : *DIDACTIQUE DES DISCIPLINES*, filière : *DIDACTIQUE DES DISCIPLINES*, Option : *DIDACTIQUE DE LA CHIMIE*.

L'intéressé doit effectuer des travaux de recherche en vue de la préparation de son diplôme de Doctorat PhD. Il travaille sous la codirection du Pr. Renée Solange NKECK BIDIAS et du Pr Bruno LENTA. Son sujet est intitulé : « Dispositif d'expérimentation et de structuration des savoirs scientifiques autour de la saponification ».

Je vous saurai gré de bien vouloir le recevoir et mettre à sa disposition toutes les informations susceptibles de l'aider à conduire ses travaux de recherches.

En foi de quoi, cette attestation de recherche lui est délivrée pour servir et valoir ce que de droit /.

Fait à Yaoundé, le.. 0.3.0.1.2.1..

Pour le Doyen et par ordre



**ANNEXE 12 : NOTE DU PRÉTEST Tle C**  
**Classe M Tsimi Tle C**

GROUPE EXPÉRIMENTAL	SEXE	ÂGE	NOTE DU PRÉTEST /11	GROUPE TÉMOIN	SEXE	ÂGE	NOTE DU PRÉTEST /11
1-ZABENGO EBA'A Paulin	G	18	5	1-ANDELA NKOUMOU	G	18	5
2-CHOUSI TENE	G	18	8	2-MESSEMTANG Nadine	F	19	5
3-TCHEMMOUE Sorel	G	16	6	3-DOMTCHANG Jeanette	F	15	10
4-MADIESSE WATBE	F	17	8	4-Youmbissi Ferandine	F	19	8
5-KENNE LONTSI ANDREA	F	17	7	5-MEUPONG Oceane Maéva	F	17	7
6-NGONO MEBARA	F	17	7	6-TCHANKEM KEMOE Sonia	F	17	7
7-GUIADEM MICHELLE	F	15	6	7-MBONWO KENNE Leslie	F	15	6
8-FOPOSSI KAMGNE Loris	G	17	5	8-SAGNA Pierre Marcelin	G	17	7
9- BEME Divin Aristide	F	17	9	9-TCHIENGANG TCHUISSANG Franc	G	16	6
10-NOUSI DONKEP Alex	G	17	10	10-NGANDJONG Kameni	G	18	10
11-TCHATCHOUA David	G	18	8	11-DJONTU SOH Yvan	G	16	8
12-NYAMGOUOT AWAWOU	G	16	6	12- KAYO Igor	G	16	6
13-KOUAM KAMDEM	G	17	8	13-NGASSA LIETCHE Landry	G	18	8
14-ETEME Theodore Frédérique	G	21	4	14-NAMB NKOLLO Emmanuel	G	18	4
15-GUIGUIM Méli Stéphane	G	17	5	15-TOUKEM DONGMO	G	20	5
16-AWONE Dominic	G	17	10	16-NZAMEYO MBA Giovani	G	17	10
17-WAMBA Romeo	G	17	7	17- NDONGO LONTSI Yann Ariel	G	17	7
18-DJIDJOU Junior	G	17	9	18-NTA MBABE Stéphane	G	17	9
19-MOUANPAIN MFOUAPON ALASSAN	G	18	6	19- NGADJOUEN Duran	G	18	6
20-DJEFE SIMO Yves Roger	G	16	8	20-NUMKAM KOUAKAM Emmanuel	G	18	8
21-ELOUNDOU MBE TIM	F	18	7	21-AYISSI ESSAMA Sylvestre	G	18	7
22-DIFFO NDIFFO Alex	G	15	6	22- NGOUNOU KAMDOM	G	16	11

**ANNEXE 13 : NOTE PRÉTEST Tle D1**  
**Classe Tle D1 M Mbianda**

GROUPE EXPÉRIMENTAL	SEX E	ÂGE	NOTE DU PRÉTEST /11	GROUPE TEMOIN	SEX E	ÂGE	NOTE DU PRÉTEST /11
1-BLESSEING Madina	F	20	4	1-NFONLET AICHATOU	F	21	5
2-MEKEDJE Laura Madih	F	16	10	2-TEUMEN KOUAGNIA	F	17	9
3-MBIEDA Synthia	F	21	8	3-NEUMATCHOUA Noelle	F	22	8
4-TCHEUTCHOU A FOFOU Daina	F	22	7	4-BODO NKOLO	F	18	7
5-BELA AMVAME Princesse Dona	F	18	6	5-FADIMATOU NJOYA	F	18	6
6-BESSALA BILONGUI Raymond	G	20	6	6-YAKANA OLOUME Fabrice	G	18	7
7- FEZE Bill	G	17	5	7-AHMED MOUSTAPHA	G	19	4
8-AWONO Donald	G	20	5	8-MOHAMADOU HAMAN GABDO	G	20	5
9-ISSIDIDI DAN MALAM	G	18	9	9-MBANY AMANYA	G	17	9
10-TSOUNGUI Yves	G	19	8	10-NDJOCK Sammuél	G	21	8
11-MINKA Serge	G	18	7	11-MBECK ANDA	G	18	7
12-ATOUAKANSA HERMANN	G	20	4	12-MOUDESSOU Darel	G	17	4
13-David Wanie	G	22	3	13-OBAMA ATANGANA Pierre	G	18	3
14-GANGOUM TANON	G	18	3	14-NOUMSI SIBAFO	G	17	3

## ANNEXE 14 : NOTE PRÉTEST Tle D2

Classe M Saker

GROUPE EXPÉRIMENTAL	SEX E	AGE	NOTE DU PRÉTEST /11	GROUPE TEMOIN	SEX E	ÂGE	NOTE DU PRÉTEST /11
1-MAMIAFO Manuella	F	19	10	1-NKEDE Fiore NGONO	F	22	8
2-RAYE MOUNDE	G	19	7	2-DJOUKOUO SOH ALANIS	F	21	8
3-ONGBAGNIK ON NINA	F	20	7	3-AKAMBA MENSAH Loica	F	19	7
4-NAGAP SIEWE	F	20	9	4-NGOMBI NANGA Monique	F	20	7
5-BILOA AHANDA	F	21	7	5-HAPPI KAMENI Loveline	F	20	6
6-FOUSSI LAFORTUNE	F	20	6	6-AICHA MOHAMADOU	F	18	6
7-NKOE CHIMI	F	19	5	7-OWONO OWONO	F	18	5
8-KUISSU FOKAM	G	20	5	8-NYANDONGO Trésor	F	19	5
9-NGONO Lynda	F	20	5	9-KAMTCHOUM Armelle	F	21	4
10-TEKEU Ulrich	G	18	3	10-BEMMO MBOUKAM Alban	G	17	4
11-NLOMBO DENUCH	F	18	4	11-OPONO ANDZONGO	G	19	4
12-NGWEFANG NGASSA Lidevine	F	20	3	12-ASSAMGBA Gisèle Flore	F	17	3
13-AYISSI Alain	G	20	7	13-TCHOKOTEU NGANGOUM	G	18	7
14-AMOUGOU BITOMO Krepin	G	18	7	14-ZANG ETOUNDI	G	20	6
15-MFOMO	F	18	6	15-OYONO NYOGA	G	20	7
16-EDOUA EMINI	G	22	5	16-NOAH NKADA	G	19	5
17-BILKISSOU BOUBA	G	18	6	17-TAKODJOU DJOUGUELA	G	18	8

## ANNEXE 15 : ACTIVITÉS DE REMÉDIATION

### I-But :

- Distinguer une molécule d'un atome
- Distinguer un corps pur simple d'un corps pur composé
- Regrouper les savoirs par niveau

### II- ACTIVITÉ 1 : Distinction entre atome et molécule

1-Définir :

-Atome .....

.....

-Molécule .....

.....

2-Peut-on différencier un atome d'une molécule ? .....

3-Recopier puis compléter le tableau ci-dessous en se servant des atomes ou des molécules ci-après :

Ag ; Na ; Zn ; H<sub>2</sub>O ; C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH ; Cu ; C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> ; NaOH ; C ; S ; O

ATOMES	MOLÉCULES

4-Justifier vos choix : .....

.....

## II-ACTIVITÉ 2 : Distinction entre corps purs simples et corps purs composés

1-Définir :

-Corps purs simples :.....

-Corps purs composés :.....

2-Peut-on différencier un corps pur simple d'un corps pur composé ?.....

3-Recopier puis compléter le tableau ci-dessous à l'aide des corps purs ci-après :

O<sub>3</sub> (Ozone) ; CH<sub>4</sub> (Méthane) ; O<sub>2</sub> (Dioxygène) ; CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>COOCH<sub>3</sub> (Ethanoate de méthyle) ; C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH ; Fe ; C,

CORPS PURS SIMPLES	CORPS PURS COMPOSÉS

4-Justifier vos choix :.....

## III-ACTIVITÉ 3 : Distinction des niveaux de savoir

En vous appuyant sur les mots mis à votre disposition, recopier puis compléter le tableau.

SITUATION EXPERIMENTALE (instruments utilisés au cours d'une expérimentation)	REGISTRE SYMBOLIQUE (tout ce qui a trait aux symboles)	NIVEAU MICROSCOPIQUE (tout ce qui est invisible à l'œil nu en chimie)	NIVEAU MACROSCOPIQUE (tout ce qui est visible à l'œil nu en chimie)

**Mots à utiliser :**

Spatule, bécher, NaOH, triester, (équation bilan de la réaction de saponification), savon, (Na<sup>+</sup> +HO<sup>-</sup>) , CH<sub>2</sub>OHCHOHCH<sub>2</sub>OH, Glycérol, Soude.

## ANNEXE 16 : FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

### FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

(d'après Fernandez & Catteuw, 2001)

Je soussigné déclare librement d'accepter, et de façon éclairé de participer comme sujet à l'étude intitulé : **Dispositif d'expérimentation portant sur la saponification et impact sur la distinction des niveaux macroscopique, microscopique et symbolique de la chimie.**

Sous la direction de (nom du directeur de recherche) : **NKECK BIDIAS Rénée Solange, MOLVINGER-VERGER Karine**

Promoteur : **Université de Yaoundé 1 / Faculté des sciences de l'éducation**

Investigateur principal : **NGUETCHO ERIC MARTIAL , Doctorat 2, 2021**

But de l'étude : **Utiliser un dispositif d'expérimentation portant sur la saponification pour distinguer les niveaux empirique, macroscopique , microscopique et symbolique/visualisation de la chimie .**

Engagement du participant : **l'étude consistera à recueillir les représentations sur l'enseignement de la saponification afin de proposer un dispositif d'enseignement**

Engagement de l'investigateur principal : **en tant qu'investigateur principal, il s'engage à mener cette recherche selon les dispositions éthiques et déontologiques, à protéger l'intégrité physique, psychologique et sociale des personnes tout au long de la recherche et à assurer la confidentialité des informations recueillies. Il s'engage également à fournir aux participants tout le soutien permettant d'atténuer les effets négatifs pouvant découler de la participation à cette recherche.**

Liberté du participant : **le consentement pour poursuivre la recherche peut être retiré à tout moment sans donner de raison et sans encourir aucune responsabilité ni conséquence. Les réponses aux questions ont un caractère facultatif et le défaut de réponse n'aura aucune conséquence pour le sujet.**

Information du participant : **le participant a la possibilité d'obtenir des informations supplémentaires concernant cette étude auprès de l'investigateur principal, et ce dans les limites des contraintes du plan de recherche.**

Confidentialité des informations : **toutes les informations concernant les participants seront conservées de façon anonymes et confidentielles. Le traitement informatique n'est pas nominatif, il n'entre pas de ce fait dans la loi Informatique et Liberté (le droit d'accès et de rectification n'est pas recevable). Cette recherche n'ayant qu'un caractère psychologique, elle n'entre pas de ce fait dans la loi Huriet-Sérusclat concernant la protection des personnes dans la recherche biomédicale. La transmission des informations concernant le participant pour l'expertise ou pour la publication scientifique sera elle aussi anonyme.**

Déontologie et éthique : **le promoteur et l'investigateur principal s'engagent à préserver absolument la confidentialité et le secret professionnel pour toutes les informations concernant le participant**

Fait à Yaoundé le

Le participant

L'investigateur principal

# TABLE DE MATIERES

SOMMAIRE .....	I
REMERCIEMENTS .....	IV
LISTE DES GRAPHIQUES .....	VI
LISTE DES FIGURES .....	XIII
LISTE DES TABLEAUX .....	XV
LISTE DES ANNEXES .....	XVI
RÉSUMÉ.....	XVII
ABSTRACT .....	XVIII
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
PREMIÈRE PARTIE : CONSTRUCTION DE LA PROBLÉMATIQUE.....	4
CHAPITRE 1 : PROBLÉMATIQUE DE L'ÉTUDE .....	5
1-1 Contexte et justification. ....	5
1-1-1 La transposition didactique : un exercice complexe pour résoudre le problème de construction des savoirs. ....	5
1-1-2 Une petite analyse du curriculum actuel de chimie : une recherche des niveaux empirique, macroscopique, microscopique et symbolique / visualisation de la chimie. ....	7
1-1-3 Les efforts du gouvernement. ....	9
1-2 Position et formulation du problème. ....	10
1-2-1 Les constats. ....	10
1-2-2 Le problème.....	13
1-2-3 Questions de recherches.....	13
1-2-4 Objectifs de la recherche. ....	14
1-3 Intérêt de l'étude.....	14
1-3-1 Sur le plan scientifique.....	14
1-3-2 Sur le plan pédagogique et didactique. ....	15
1-3-3 Sur le plan social. ....	16
1-4 Délimitation de l'étude.....	16
1-4-1 Délimitation thématique. ....	16
1-4-2 Délimitation spatiale.....	16
1-4-3 Délimitation temporelle. ....	17
1-5 Conclusion. ....	17
CHAPITRE 2 : CADRE CONCEPTUEL.....	18
2-1 Définition de l'expérimentation. ....	18

2-2 Le dispositif d'expérimentation. ....	20
2-3 Estérification .....	20
2-4 La saponification. ....	21
2-4-1 Genèse de la saponification.....	21
2-4-2 Définition de la saponification. ....	21
2-4-3 Les types de savons. ....	22
2-4-4 Propriétés et importance du savon.....	23
2-5 Définition du niveau macroscopique. ....	24
2-6 Définition du niveau microscopique. ....	24
2-7 Le niveau symbolique /visualisation.....	25
2-8 Définition du concept de substance.....	25
2-9 Définition du modèle.....	26
2-10 Définition de la modélisation. ....	26
2-11 Conclusion. ....	28
<b>DEUXIÈME PARTIE : CADRE THÉORIQUE. ....</b>	<b>29</b>
<b>CHAPITRE 3 : DIFFICULTÉS RENCONTRÉES PAR LES APPRENANTS AU COURS DE LA CIRCULATION ENTRE LES NIVEAUX DE SAVOIR (REVUE DE LA LITTÉRATURE). ....</b>	<b>30</b>
3-1 Difficultés liées au passage de la formule chimique au nom (niveau macroscopique et symbolique/visualisation). ....	30
3-2 Difficultés liées au passage du nom à la formule chimique (niveau macroscopique et symbolique/visualisation). ....	31
3-3 Difficultés liées à la position des atomes dans la formule chimique d'une molécule : cas des corps purs composés (niveau macroscopique et symbolique/visualisation). ....	32
3-4 La proportionnalité entre les atomes dans deux formules chimiques : une source d'erreur (niveau microscopique et symbolique/visualisation) ? .....	32
3-5 Difficultés liées aux indices dans les formules chimiques des molécules (niveau symbolique/visualisation). ....	33
3-6 Difficultés liées aux coefficients stœchiométriques (niveau microscopique et symbolique/visualisation). ....	33
3-7 Difficultés liées aux indices et aux coefficients stœchiométriques dans les formules chimiques (niveau symbolique/visualisation).....	34

3-8 Du schéma particulière à la formule chimique (niveau microscopique et symbolique/visualisation). .....	34
3-9 Difficultés liées aux critères macroscopiques et microscopiques.....	35
3-10 Difficultés liées au changement du niveau d'interprétation (niveau macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation). .....	35
3-11 Difficultés liées à l'écriture d'une équation bilan (niveau macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation). .....	36
3-11-1 Difficultés liées aux réactifs (niveau macroscopique et symbolique/visualisation). .....	37
3-11-2 Difficultés liées aux produits formés et à l'écriture d'une équation bilan (niveau macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation).....	37
3-11-3 Difficultés liées à l'interprétation d'une réaction chimique (niveaux empirique, macroscopique et microscopique). .....	38
3-11-4 Difficultés liées aux signes présents dans une équation bilan de réaction chimique (niveau symbolique/visualisation).....	40
3-12 Différence entre transformation chimique et transformation physique.....	41
3-13 Difficultés liées à la non maîtrise du concept de la mole (niveau microscopique). .....	41
3-14 Difficultés liées aux modèles (microscopique et symbolique/visualisation). .....	42
3-15 Récapitulatif des difficultés en fonction des auteurs. ....	43
3-16 Conclusion : bilan des difficultés et hypothèses de recherche. ....	44
<b>CHAPITRE 4 : LA THÉORIE DES SITUATIONS DIDACTIQUES. ....</b>	<b>46</b>
4-1 Les situations didactiques.....	46
4-2 Les situations adidactiques.....	47
4-2-1 Les types de situations adidactiques. ....	48
4-2-2 les situations d'action.....	49
4-2-3 La situation de formulation.....	50
4-2-4 La situation de preuve ou de validation. ....	50
4-2-5 L'institutionnalisation.....	51
4-2-6 Le contrat didactique.....	51
4-3 Conclusion et implication pour la recherche.....	51
<b>CHAPITRE 5 : LA THÉORIE DES NIVEAUX DE SAVOIR. ....</b>	<b>53</b>
5-1 Johnstone et le « chemistry triplet » de 1982. ....	53

5-2 Johnstone et le « chemistry triplet » de 1991. ....	54
5-3 Houart et le « chemistry triplet » de 2009. ....	56
5-4 Gilbert et Treagust 2009 : le « triplet Relationship ». ....	58
5-5 Le tétraèdre proposé par Kermen et Méheut (2009). ....	58
5-6 Talanquer et le « chemistry knowledge space » (2011). ....	60
5-7 Le modèle du « chemistry triplet » de Taber (2013). ....	62
5-8 Le « chemistry triplet » de Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2014). ....	63
5-9 Les niveaux de signification de Dehon (2018). ....	66
5-10 Conclusion : bilan et impact pour la recherche. ....	71
<b>TROISIÈME PARTIE : CADRE MÉTHODOLOGIQUE. ....</b>	<b>72</b>
<b>CHAPITRE 6 : MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE : L'INGÉNIERIE</b>	
<b>DIDACTIQUE. ....</b>	<b>73</b>
6-1 Les origines de l'ingénierie didactique. ....	73
6-2 Les principaux types d'ingénierie didactique. ....	74
6-3 L'ingénierie didactique, une méthodologie de recherche, quels sont ses éléments	
caractéristiques ? ....	75
6-4 Les différentes phases de la méthodologie d'ingénierie. ....	76
6-4-1 les analyses préalables (phase 1). ....	76
6-4-2 La conception et l'analyse <i>a priori</i> . ....	77
6-4-3 L'expérimentation, l'analyse <i>a posteriori</i> et validation. ....	78
6-5 Conclusion : bilan et implication pour la recherche. ....	79
<b>CHAPITRE 7 : MÉTHODOLOGIE DE COLLECTE DES DONNÉES. ....</b>	<b>81</b>
7-1 Présentation du site de l'étude. ....	81
7-2 La population. ....	81
7-2-1 La population cible. ....	82
7-2-2 La population accessible. ....	82
7-2-3 L'échantillon de l'étude. ....	82
7-2-4 Technique d'échantillonnage. ....	83
7-3 Choix des instruments de collecte des données. ....	84
7-4 Validation des instruments de collecte des données. ....	84
7-5 Procédure de collecte des données. ....	85
7-6 Description du prétest. ....	85
7-7 Description du test (TP saponification). ....	88
7-8 Le post test. ....	94

7-9 Le questionnaire pour enseignants.....	96
7-10 Quelques considérations éthiques liées à la méthodologie de collecte des données .....	98
7-11 Conclusion.....	99
<b>CHAPITRE 8 : MÉTHODOLOGIE DE TRAITEMENT DES DONNÉES.....</b>	<b>100</b>
8-1 Les analyses mixtes (qualitatives et quantitatives).....	100
8-1-1 Les étapes de l'analyse qualitative. ....	101
8-1-2 La nature des données et le processus de retranscription. ....	101
8-1-3 La codification.....	101
8-1-4 Implication du type de codage dans la recherche.....	104
8-1-5 Procédure du codage.....	104
8-1-6 Le traitement de données quantitatives. ....	105
8-2 Grille d'analyse du prétest.....	107
8-3 Grille d'analyse du post test.....	109
8-4 Grille d'analyse du questionnaire pour enseignant. ....	111
8-5 Conclusion.....	112
<b>QUATRIÈME PARTIE : ANALYSES PRÉALABLES ET ANALYSES A PRIORI.....</b>	<b>113</b>
<b>CHAPITRE 9 : LES ENQUÊTES PRÉALABLES PORTANT SUR LE PROGRAMME DE CHIMIE DE LA SECTION FRANCOPHONE DU CAMEROUN.....</b>	<b>114</b>
9-1 Le programme du sous cycle d'observation 6 <sup>e</sup> et 5 <sup>e</sup> .....	114
9-1-1 Présentation du programme d'étude du sous cycle d'observation 6 <sup>e</sup> et 5 <sup>e</sup> ....	114
9-1-2 Objectifs du programme du sous cycle d'observation 6 <sup>e</sup> et 5 <sup>e</sup> .....	115
9-1-3 Présentation du module 2 du programme du sous cycle d'observation 6 <sup>e</sup> et 5 <sup>e</sup> : la matière ses propriétés et ses transformations.....	116
9-1-4 Analyse du programme de chimie pour la classe de 6 <sup>e</sup> (module 2).....	117
9-1-5 Analyse du programme de chimie pour la classe de 5 <sup>e</sup> (module 2).....	118
9-2 Le programme du cycle d'observation 4 <sup>e</sup> /3 <sup>e</sup> : présentation.....	119
9-2-1 Présentation du module 1 du programme de chimie de la classe de 4 <sup>e</sup> .....	122
9-2-2 Analyse du module 1 du programme de chimie de la classe de 4 <sup>e</sup> francophone .....	124
9-2-3 Présentation du module 1 du programme de chimie de la classe de 3 <sup>e</sup> francophone au Cameroun en vigueur depuis 2014. ....	126
9-2-4 Analyse du module 1 du programme de chimie de la classe de 3 <sup>e</sup> francophone. .....	128

9-3 Bilan d'analyse du programme du collège.....	<b>129</b>
9-4 Le programme de chimie de la classe de 2 <sup>nde</sup> scientifique : présentation.....	<b>129</b>
9-4-1 Profil d'un élève en fin de cycle au lycée.....	<b>130</b>
9-4-2 Les finalités du module 1 de chimie.....	<b>131</b>
9-4-3 Présentation du module 1 du programme de chimie de la classe de seconde francophone (Annexe 4).....	<b>131</b>
9-4-4 Analyse du module 1 du programme de chimie de la classe de 2 <sup>nde</sup> scientifique.....	<b>132</b>
9-4-5 Le module 2 du programme de chimie de la classe de seconde scientifique : présentation.....	<b>133</b>
9-4-6 Analyse du module 2.....	<b>135</b>
9-5 Le programme de chimie de la classe de première scientifique : présentation. ...	<b>135</b>
9-5-1 Présentation du module 1 du programme de chimie de la classe de première.....	<b>136</b>
9-5-2 Analyse du module 1 du programme de chimie de la classe de première scientifique.....	<b>137</b>
9-5-3 Présentation du deuxième module de chimie de la classe de première C, D.	<b>138</b>
9-5-4 Analyse du module 2 du programme de chimie pour les classes de première C et D.....	<b>140</b>
9-6 Le programme de chimie de la classe de terminale C et D et E : présentation générale.....	<b>141</b>
9-6-1 Le module 1 du programme de chimie de la classe de terminale : présentation.....	<b>142</b>
9-6-2 Analyse du module 1 du programme de terminales C, D et E.....	<b>144</b>
9-6-3 Le module 2 du programme de chimie de la classe de terminale C, D et E : présentation.....	<b>145</b>
9-6-4 Analyse du module 2.....	<b>147</b>
9-7 Le module 3 du programme de chimie de la classe de terminale C, D et E : présentation.....	<b>148</b>
9-7-1 Analyse du module 3.....	<b>148</b>
9-8 Bilan du lycée.....	<b>149</b>
9-9 Conclusion.....	<b>149</b>



11-2-11 Résultats des analyses <i>a priori</i> de l'exemple associé à la troisième question pour l'ensemble des classes : « Donner un exemple à l'aide des documents ci-dessus ».	185
11-2-12 Bilan des analyses <i>a priori</i> de la question 3-1 pour l'ensemble des classes.	187
11-2-13 Résultats des analyses <i>a priori</i> de la quatrième question pour l'ensemble des classes.	188
11-2-14 Bilan des analyses <i>a priori</i> de la question 4 pour l'ensemble des classes.	191
11-2-15 Résultats des analyses <i>a priori</i> de la question 5 pour l'ensemble des classes.	192
11-2-16 Bilan des analyses <i>a priori</i> de la question 5 pour l'ensemble des classes.	194
11-2-17 Résultats des analyses <i>a priori</i> de la question 6 pour l'ensemble des classes.	195
11-2-18 Bilan des analyses <i>a priori</i> de la question 6 pour l'ensemble des classes.	197
11-2-19 Résultats des analyses <i>a priori</i> de la question 7 pour l'ensemble des classes.	198
11-2-20 Bilan des analyses <i>a priori</i> de la question 7 pour l'ensemble des classes.	201
11-3 Conclusion : bilan général des analyses <i>a priori</i> .	202
CINQUIÈME PARTIE : ANALYSES <i>A POSTERIORI</i> , COMPARAISON DES ANALYSES <i>A PRIORI</i> ET <i>A POSTERIORI</i> , DISCUSSION.	204
CHAPITRE 12 : RÉSULTATS ET ANALYSES <i>A POSTERIORI</i> .	205
12-1 Résultats des analyses <i>a posteriori</i> de la première question du post test pour l'ensemble des classes.	205
12-1-1 Bilan des analyses <i>a posteriori</i> de la première question du post test pour l'ensemble des classes.	207
12-2 Résultats des analyses <i>a posteriori</i> de l'exemple associé à la première question du post test (question 1-1) pour l'ensemble des classes.	208
12-2-1 Bilan des analyses <i>a posteriori</i> de l'exemple associé au macroscopique pour l'ensemble de classes.	210

12-3 Résultats des analyses <i>a posteriori</i> de la deuxième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	<b>211</b>
12-3-1 Bilan des analyses <i>a posteriori</i> de la question 2 pour l'ensemble des classes. ....	<b>213</b>
12-4 Résultats des analyses <i>a posteriori</i> de l'exemple associé à la question 2 pour l'ensemble des classes. ....	<b>213</b>
12-4-1 Bilan des analyses <i>a posteriori</i> de l'exemple associé à la deuxième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	<b>215</b>
12-5 Résultats des analyses <i>a posteriori</i> de la troisième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	<b>216</b>
12-5-1 Bilan des analyses <i>a posteriori</i> de la troisième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	<b>218</b>
12-6 Résultats des analyses <i>a posteriori</i> de l'exemple associé à la troisième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	<b>219</b>
12-6-1 Bilan des analyses <i>a posteriori</i> de l'exemple associé à la troisième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	<b>221</b>
12-7 Résultats des analyses <i>a posteriori</i> de la quatrième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	<b>221</b>
12-7-1 Bilan des analyses <i>a posteriori</i> de la quatrième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	<b>224</b>
12-8 Résultats des analyses <i>a posteriori</i> de la cinquième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	<b>224</b>
12-8-1 Bilan des analyses <i>a posteriori</i> de la cinquième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	<b>226</b>
12-9 Résultats des analyses <i>a posteriori</i> de la sixième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	<b>227</b>
12-9-1 Bilan des analyses <i>a posteriori</i> de la sixième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	<b>229</b>
12-10 Résultats des analyses <i>a posteriori</i> de la septième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	<b>229</b>
12-10-1 Bilan des analyses <i>a posteriori</i> de la septième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	<b>234</b>

12-11 Résultats des analyses <i>a posteriori</i> de la huitième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	<b>235</b>
12-11-1 Bilan des analyses <i>a posteriori</i> de la huitième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	<b>239</b>
12-12 Résultats des analyses <i>a posteriori</i> de la neuvième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	<b>240</b>
12-12-1 Bilan des analyses <i>a posteriori</i> de la neuvième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	<b>245</b>
12-13 Résultats des analyses <i>a posteriori</i> de la dixième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	<b>245</b>
12-13-1 Bilan des analyses <i>a posteriori</i> de la dixième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	<b>249</b>
12-14 Résultats des analyses <i>a postériori</i> de la onzième question du post test pour l'ensemble des classes. ....	<b>250</b>
12-14-1 Bilan des analyses <i>a posteriori</i> de la onzième question du post test pour l'ensemble de classes. ....	<b>254</b>
12-15 Conclusion. ....	<b>255</b>
<b>CHAPITRE 13 : COMPARAISON DES ANALYSES A PRIORI ET A POSTERIORI.....</b>	<b>256</b>
13-1 Comparaison des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> de la première question commune au prétest et au post test. ....	<b>256</b>
13-1-1 Bilan des comparaisons des analyses <i>a priori et posteriori</i> de la première question commune au prétest et post test. ....	<b>261</b>
13-2 Comparaisons des analyses <i>a priori</i> et <i>posteriori</i> de l'exemple associé à la première question, commune au prétest et post test. ....	<b>262</b>
13-2-1 Bilan des comparaisons des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> de l'exemple associé à la première question. ....	<b>267</b>
13-3 Comparaison des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> concernant la deuxième question. ....	<b>268</b>
13-3-1 Bilan des comparaisons des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> concernant la deuxième question. ....	<b>272</b>
13-4 Comparaisons des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> concernant l'exemple associé à la deuxième question. ....	<b>273</b>

13-4-1 Bilan des comparaisons des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> concernant l'exemple associé à la deuxième question. ....	<b>278</b>
13-5 Comparaison des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> concernant les appréhensions des élèves sur le symbolique. ....	<b>279</b>
13-5-1 Bilan des comparaisons des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> de la troisième question. ....	<b>284</b>
13-6 Comparaison des analyses <i>a priori</i> et <i>a postériori</i> de l'exemple associé à la troisième question. ....	<b>285</b>
13-6-1 Bilan des comparaisons des analyses <i>a priori</i> et <i>a postériori</i> concernant l'exemple associé à la troisième question. ....	<b>289</b>
13-7 Comparaison des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> concernant la quatrième question. ....	<b>290</b>
13-7-1 Bilan des comparaisons des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> de la quatrième question. ....	<b>295</b>
13-8 Comparaison des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> relatives à la cinquième question. ....	<b>296</b>
13-8-1 Bilan des comparaisons des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> de la cinquième question. ....	<b>301</b>
13-9 Comparaison des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> concernant la sixième question. ....	<b>302</b>
13-9-1 Bilan des comparaisons des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> concernant la sixième question. ....	<b>307</b>
13-10 Comparaison des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> concernant la septième question. ....	<b>308</b>
13-10-1 Bilan des comparaisons des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> question 7. ....	<b>313</b>
13-11 Comparaison des analyses <i>a posteriori</i> de la huitième question. ....	<b>314</b>
13-11-1 Bilan des comparaisons des analyses <i>a posteriori</i> pour la question numéro 8. ....	<b>316</b>
13-12 Comparaison des analyses <i>a posteriori</i> de la neuvième question. ....	<b>317</b>
13-12-1 Bilan des comparaisons des analyses pour la question numéro 9. ....	<b>319</b>
13-13 Comparaison des analyses <i>a posteriori</i> de la dixième question. ....	<b>319</b>

13-13-1 Bilan des comparaisons des analyses <i>a posteriori</i> pour la question numéro 10.....	322
13-14 Comparaison des analyses <i>a posteriori</i> de la onzième question. ....	323
13-14-1 Bilan des comparaisons des analyses <i>a posteriori</i> pour la question numéro 11.....	325
13-15 Conclusion. ....	326
CHAPITRE 14 : DISCUSSION DES RÉSULTATS. ....	327
14-1 Discussion portant sur les résultats des trois premières questions et de l'exemple associé. ....	327
14-2 Discussion portant sur les résultats de la quatrième question. ....	329
14-3 Discussion des résultats de la cinquième question. ....	330
14-4 Discussion des résultats de la sixième question. ....	330
14-5 Discussion des résultats de la septième question. ....	331
14-6 Discussion des résultats de la huitième question. ....	332
14-7 Discussion des résultats de la neuvième question. ....	332
14-8 Discussion des résultats de la dixième question. ....	332
14-9 Discussion des résultats de la onzième question.....	333
14-10 Discussion portant sur la méthodologie : l'ingénierie didactique, outils de collecte des données. ....	334
14-11 Conclusion : bilan des discussions pour l'ensemble des deux questionnaires. ....	335
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	337
1-une analyse préalable (une analyse des programmes de chimie du collège, du lycée puis une analyse des appréhensions des enseignants sur les niveaux de savoir). ....	337
2- Une analyse <i>a priori</i> : le prétest. ....	338
3-Une conception, des essais, des révisions et une implémentation de l'outil didactique. ....	338
4-Comparaison des analyses <i>a priori</i> et <i>a posteriori</i> . ....	339
5-Des difficultés d'ordre institutionnel. ....	339
6-Quelques limites. ....	340
7- Quelques suggestions.....	340
7-1 Aux concepteurs des programmes scolaires de chimie.....	340

7-2 Aux élèves et aux enseignants de chimie.....	341
7-3 Aux chercheurs en didactiques.....	341
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>XVII</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>XXVII</b>