

Une contribution pour une meilleure circulation entre les niveaux de savoir *via* un TP portant sur la saponification

ERIC MARTIAL NGUETCHO¹, KARINE MOLVINGER-VERGER²,
RENÉE SOLANGE NKECK BIDIAS¹

¹Faculté des sciences de l'éducation
Département de didactique des disciplines
Université de Yaoundé I
Cameroun
nguetcho_mandela@yahoo.fr
nkeckbidias@yahoo.fr

²CNRS, ENSCM, Montpellier
ICGM
Université de Montpellier
France
karine.molvinger-verger@umontpellier.fr

ABSTRACT

This article aims to show the impact of a practical course on saponification on the distinction between levels of knowledge. The study was carried out in Cameroon in a scientific 12th grade class. The class divided into two groups: "experimental" group having followed the practical training and "theoretical" group not having followed the practical training. An analysis was carried out in order to show that the students having followed the practical training circulate more between the levels of knowledge compared to those of the theoretical class.

KEYWORDS

Level of knowledge, practical work, high school, saponification

RÉSUMÉ

Cet article vise à montrer l'impact de travaux pratiques portant sur la saponification, sur la distinction des niveaux de savoir. L'étude a été réalisée au Cameroun dans une classe de terminale scientifique. La classe est scindée en deux : groupe « expérimental » ayant suivi cette expérimentation et groupe « théorique » ne l'ayant pas suivie. Une analyse a été réalisée afin de montrer que les élèves ayant suivi les travaux pratiques circulent davantage entre les niveaux de savoir par rapport à ceux de la classe théorique.

MOTS-CLÉS

Niveaux de savoir, travaux pratiques, lycée, saponification

INTRODUCTION

Comme le souligne Barlet, (1999, p. 1425), « *L'histoire a ainsi montré que l'interprétation de la diversité des réactions, des phénomènes et des observables en chimie n'est pas chose*

simple ». En effet, une interprétation de l'équation de la réaction, source de difficulté pour l'élève, ne peut s'effectuer sans recours aux niveaux de savoir (empirique, macroscopique, microscopique...), éléments clés dans l'apprentissage de la chimie comme l'a montré initialement Johnstone (1982). Depuis, de nombreuses études montrent que ces difficultés de circulation entre les niveaux de savoir ont des répercussions dans le cursus de l'élève (Laugier & Dumon, 2004). Tiberghien et al. (1995) précisent que plus un savoir est relié aux différents niveaux de savoir, plus il est durable. Cette durabilité du savoir appris dépend dans la plupart des cas de la diversité de l'enseignement, d'autant plus que la chimie est une discipline à la fois théorique et expérimentale. Le recours aux travaux pratiques (TP) semble nécessaire au cours de l'apprentissage (Coquidé, 2003). Les modèles qui apparaissent dans les niveaux de savoir, ont une fonction plus large dans l'apprentissage : ils permettent de décrire les phénomènes chimiques, de les représenter, de les expliquer et enfin, de faire des prédictions. Par ailleurs, Larcher et al. (1994) précisent 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 : une confusion car l'élève ne sait pas dans quel registre il se situe, il ne sait pas s'il est dans l'abstrait ou le concret et apprend par conséquent beaucoup plus par mémorisation. Ainsi le recours à l'expérimentation dans l'apprentissage de la chimie semble primordial. Dans cet article, le TP mis en place vise à évaluer l'impact d'une activité expérimentale sur le passage du niveau empirique au niveau de la modélisation macroscopique, microscopique et symbolique/visualisation.

CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Dans les établissements scolaires du Cameroun comme d'ailleurs partout dans le monde, le processus enseignement apprentissage en sciences reste un défi majeur à relever. De nombreux exemples peuvent être évoqués comme le cas de l'enseignement de la réaction chimique qui représente un véritable nœud d'obstacle (Laugier & Dumon, 2004). En effet, la plupart des praticiens au Cameroun se limitent à communiquer des résultats expérimentaux sans toutefois s'assurer de la démarche de construction de ce savoir qui prend en compte les difficultés qu'éprouvent les élèves. Pourtant, la chimie est une discipline à la fois théorique et pratique. Cependant, en parcourant la littérature, on se rend compte que l'absence d'expérimentation en classe persiste. En effet, pour des chercheurs comme Coquidé (2003), cette absence d'expérimentation dans la plupart des cas s'explique par le manque de matériel. Paradoxalement, dans les établissements scolaires où l'on trouve du matériel, il n'est que peu voire pas utilisé : c'est le cas des praticiens qui se limitent à la démonstration expérimentale.

Pourtant, les chercheurs comme Dehon et Snauwaert (2015) pensent que pour l'apprentissage de l'équation de réaction par exemple, le passage brutal de la démonstration expérimentale (niveau empirique) à l'écriture de l'équation bilan (niveau symbolique /visualisation), qui présente de nombreux avantages pour l'enseignant, 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. Face à cet écart relevé entre les attentes de l'élève et celles des praticiens, nous tentons d'examiner de plus près les origines de ces difficultés d'apprentissage. L'absence de spécification des savoirs en termes de niveaux de savoir semble être une piste de cette difficulté. En effet, dans la littérature, de nombreux chercheurs (Dehon, 2018; Kermen & Méheut, 2009; Mzoughi-Khadhraoui & Dumon, 2012) 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. Dehon et Snauwaert (2011) montrent que ce va et vient, que fait l'enseignant au cours de ses pratiques de classe entre le visible expérimental et le monde construit théoriquement, n'est pas inné chez l'élève. De plus, de nombreuses recherches (Coquidé, 2003) ont montré que l'enseignement des sciences dans les lycées est beaucoup plus théorique qu'expérimental.

CADRE THÉORIQUE

Comme le pointe Kermen (2018, p. 8), « *Johnstone est le premier à évoquer les difficultés que peuvent avoir des élèves à suivre la gymnastique mentale à laquelle se livrent les enseignants de chimie qui dans leurs propos, naviguent entre le macroscopique, le microscopique en usant de symboles particuliers et d'autres représentations comme les graphiques* ». Johnstone (1982) met en place par conséquent le « *chemistry triplet* » afin de pallier les difficultés d'apprentissage de la chimie. En 1991, il propose un « *chemistry triplet* » amélioré dans lequel les sommets du triangle représentent les niveaux macroscopique, microscopique et symbolique (Johnstone, 1991). Cependant, Johnstone pense qu'il est très difficile pour l'enseignant d'être conscient des difficultés des élèves à circuler entre ces niveaux, surtout lorsque les apprenants restent bloqués dans la plupart des cas au sommet « *macro* ».

Les recherches de Johnstone (1982) ont subi plusieurs évolutions suite aux nombreuses critiques. Houart (2009) par exemple conserve les niveaux de savoir proposés par Johnstone (1982). Ensuite, s'appuyant d'une part sur les travaux de Martinand (1996) qui distingue le référent empirique des modèles, et d'autre part sur les travaux de Le Maréchal (1999) qui distingue le monde perceptible du monde reconstruit, elle divise le domaine abstrait de la modélisation en deux (niveau moléculaire et niveau symbolique). Enfin, elle associe à chaque niveau du triangle de Johnstone (1991) des caractéristiques qui leur sont propres. Le niveau macroscopique par exemple recouvre dans ce cas les faits expérimentaux, avec comme mode de représentation les expériences, films Gilbert et Treagust (2009) remplace le terme « *niveau de savoir* » par « *type de représentation* ».

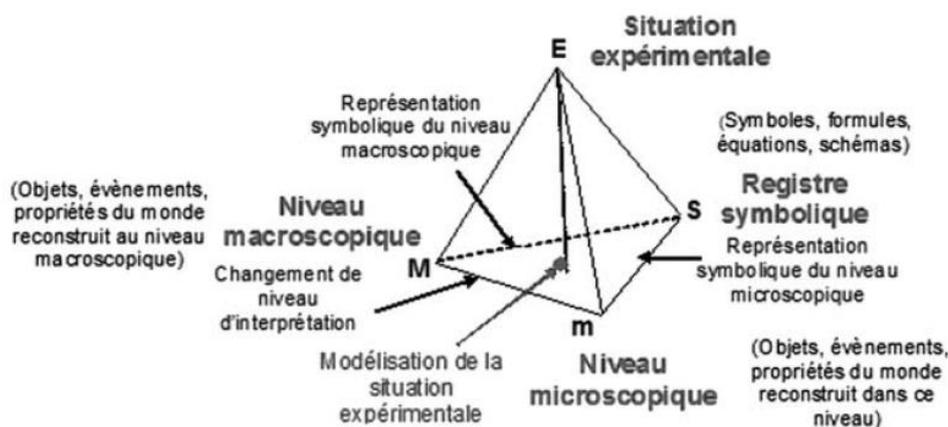
Cependant, le terme « *représentation* » crée un flou avec la fonction associé au niveau symbolique. Kermen et Méheut (2009) pensent que le niveau macroscopique ne peut pas être considéré uniquement comme empirique, car plusieurs phénomènes peuvent être à la fois considérés comme des constructions conceptuelles et des phénomènes empiriques. Elles divisent donc le niveau macroscopique présent dans le triangle de Johnstone (1991) en niveau empirique et en modélisation. Cette division présentera quelques limites puisque leur description de la réaction chimique (« *un fil de zinc mis dans une solution de sulfate de cuivre, après un certain temps, le cuivre apparaît et les ions cuivre disparaissent* » Kermen & Méheut 2009, p. 26) prend la forme d'une modélisation pour Dehon (2018) qui y voit une première interprétation du phénomène chimique observé. Finalement, le modèle proposé par Kermen et Méheut (2009) ne permettrait pas une distinction du monde empirique du monde des modèles. Quant à Talanquer (2011), il propose un espace multidimensionnel afin de pallier tous les problèmes liés aux « *Chemistry triplet* », cependant, la complexité de son modèle réduit son usage. Taber (2013) reprend les travaux de ses prédécesseurs, supprime le niveau symbolique qui selon lui ne peut pas être considéré comme un niveau à part entière puisqu'il comporte à la

fois les informations issues du niveau macroscopique et du niveau sub-microscopique. Le niveau symbolique n'est donc pas considéré dans ce cas en tant que niveau de savoir à part entière, mais comme un moyen de communication entre les niveaux macroscopique et sub-microscopique.

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.

En 2012, Mzoughi-Khadhraoui et Dumon proposent un modèle de niveaux de savoir en s'appuyant sur les travaux des auteurs précédents et en particulier celui de Kermen et Méheut (2009). Ce modèle est présenté sous forme de tétraèdre (Figure 1), le premier sommet est nommée situation expérimentale, le second nommé niveau macroscopique, le troisième niveau nommé niveau microscopique, le quatrième niveau nommé registre symbolique. Chaque arête reliant deux niveaux possède des caractéristiques permettant de passer d'un sommet à un autre. En accord avec Kermen et Méheut (2009), Mzoughi-Khadhraoui et Dumon (2012) admettent que les phénomènes observés au niveau expérimentel se conceptualisent à la fois au niveau macroscopique et au niveau microscopique en termes de modèle (Figure 1). Enfin, Mzoughi-Khadhraoui et Dumon (2012) considèrent le niveau symbolique /visualisation comme une composante du monde des théories et des modèles. Notons que ces niveaux « de savoir » trouvent selon les auteurs différentes appellations comme, par exemple, niveaux « de représentation » ... Nous garderons, comme Dehon (2018) avant nous, le terme de niveau de savoir de façon générale.

FIGURE 1



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

Tétraèdre de Kermen et Méheut (2009) révisé par Mzoughi-Khadhraoui et Dumon (2012)

Dans cette étude, nous nous intéressons à la mise en place de travaux pratiques (TP) pour que les élèves se déplacent en particulier de la situation expérimentale vers le niveau de

modélisation macroscopique : le modèle de Mzoughi-Khadhraoui et Dumon (2012) est donc le plus adapté à cette étude. Le TP porte sur la saponification. Les élèves ont l'occasion d'utiliser le matériel destiné à l'expérimentation (niveau empirique), de décrire les substances utilisées (couleur par exemple) (niveau macroscopique), d'expliquer les phénomènes (niveau microscopique) et de modéliser le phénomène chimique observé par une équation bilan de la réaction chimique (niveau symbolique/visualisation).

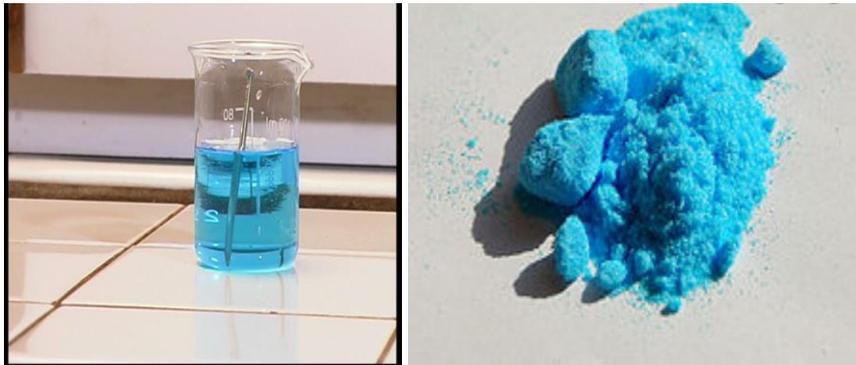
Nous nous demandons si le fait de manipuler et d'être confrontés à des situations expérimentales, permet aux élèves d'enrichir certaines notions en les envisageant dans les différents niveaux de savoir de la chimie (macroscopique, microscopique, empirique, symbolique). Nous formulons donc l'hypothèse suivante : les travaux pratiques peuvent-ils aider l'élève à circuler entre les niveaux de savoir ?

MÉTHODOLOGIE

La classe de terminale C étudiée a pour spécialités les Mathématiques et les Sciences physiques. Elle se situe dans un établissement bilingue de Nkol-eton de Yaoundé (Cameroun), et est composée de 44 élèves de 18 ans en moyenne. Pendant les heures de classe, les élèves ont répondu à un prétest d'une durée d'une heure, deux semaines avant la séquence. Les élèves de cette classe sont ensuite répartis en deux groupes homogènes sur la base de ce test : le groupe expérimental (21 élèves, un élève absent) réalise l'expérimentation (en plus du cours) pendant que le groupe théorique ne reçoit que des enseignements théoriques (22 élèves). Le TP réalisé porte donc sur la saponification. Dans le groupe théorique, l'enseignant se limite à la communication des résultats expérimentaux à l'aide d'un modèle théorique conformément au programme en vigueur. Dans le groupe expérimental, en plus du cours théorique commun aux deux groupes, l'enseignant guide les travaux pratiques mis en place. De manière plus précise, durant la manipulation, l'enseignant s'assure de la maîtrise du matériel ainsi que son rôle durant la manipulation. Il vérifie également si les élèves notent les changements de couleur et s'ils associent à chaque substance un nom scientifique. Enfin, il met en place un débat permettant aux élèves de confronter leurs différents points de vue dans le but d'expliquer ce qui se passe au niveau microscopique. Un post test a également été élaboré et s'est déroulé dans les mêmes conditions que le prétest, une semaine après la séquence. Il comprend les questions du prétest ainsi que de nouvelles questions. Nous présentons ici quatre questions présentes dans le prétest mais également dans le post test, afin de permettre une comparaison des réponses avant et après expérimentation. Les trois premières questions sont accompagnées de trois documents (Figure 2) : le premier présente une photographie d'une solution de sulfate de cuivre, le deuxième une photographie du sulfate de cuivre solide et le troisième, l'équation bilan de la dissolution du sulfate de cuivre ; il est question pour l'élève de s'appuyer sur ces différents documents pour répondre aux trois premières questions. Il est demandé aux élèves d'expliquer ce qu'ils entendent par macroscopique, microscopique et symbolique et de donner un exemple grâce à ces illustrations. Ces questions visent dans un premier temps à voir si les élèves connaissent les différents niveaux de savoir. Pour cela, nous avons analysé les réponses à ces questions en étudiant le vocabulaire utilisé : lorsque l'élève n'utilise que du vocabulaire relevant du macroscopique (couleur, matériel...) on note « *macro* », pour le vocabulaire relevant du microscopique (ions, molécules...), on note « *micro* », pour le vocabulaire empirique (bécher, spatule ...) on note « *empirique* » et pour le vocabulaire symbolique/visualisation (formule, équation, flèche...) on note « *symbolique /visualisation* ». Lorsque l'élève utilise le niveau de savoir correspondant (macro pour la première question (1 et 1.1), micro pour la deuxième (2 et 2.1), symbolique pour la troisième (3 et 3.1) on met « correct ».

FIGURE 2

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



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



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

Questions des deux tests (prétest et post test) étudiées dans cet article

Pour la quatrième question, nous demandons aux élèves, de décrire au maximum les réactifs utilisés en précisant leurs rôles, de donner enfin le protocole expérimental de fabrication du savon (Figure 3).

FIGURE 3

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

Question des deux tests (prétest et post test) étudiée dans cet article

Nous recherchons le vocabulaire utilisé par les élèves afin de voir dans quel niveau ils se situent selon le modèle de Mzoughi-Khadhraoui et Dumon (2012). Nous essayons également de savoir s'ils se déplacent d'un niveau à l'autre, en utilisant les catégories précédentes en nous basant essentiellement sur les critères empirique et macroscopique de ce cadre. Lorsque l'élève utilise plusieurs niveaux on les note (par exemple « *micro-macro* » si dans la réponse on trouve des

mots relevant du microscopique et des mots relevant du macroscopique). Nous obtenons par exemple les catégories suivantes : « *micro-symbolique/visualisation* », « *empirique-macro-micro-symbolique/visualisation* »... Par la suite, nous évaluons la proportion des élèves qui emploient un, deux ou trois niveaux.

RÉSULTATS, ANALYSES ET DISCUSSIONS

Nous présentons les résultats par groupe (expérimental et théorique), puis nous comparons l'évolution des résultats en analysant les données du prétest et ceux du post test. Pour la question 4, les pourcentages de réponses en fonction des niveaux utilisés sont indiqués. Concernant la conception des élèves sur le macroscopique, on retrouve des définitions communes pour les deux groupes. En effet, certains donnent les réponses correctes suivantes « *c'est toute chose qu'on peut voir* », « *le visible* », « *ce qui est grand* ». Ils proposent « *les couleurs, les solides, et les liquides* » comme exemple d'illustration. D'autres affirment que : « *le macroscopique renvoie aux grosses molécules visibles à l'œil* ». Cette dernière réponse est ambiguë puisque l'élève emploie à la fois le vocabulaire microscopique « *molécule* » et le vocabulaire macroscopique « *visible à l'œil* », nous ne la considérons pas comme correcte. Pour le microscopique, certains élèves proposent comme réponses correctes « *petit, invisible* » pour la définition et « *les ions cuivre* » comme exemple d'illustration. D'autres proposent comme exemple d'illustration « *sulfate de cuivre (liquide)* ». Cette dernière réponse est incorrecte puisque le terme « *liquide* » appartient au niveau macroscopique. Concernant le symbolique, certains élèves proposent les « *symboles* », les formules des ions, ainsi que les équations pour l'exemple illustratif. D'autres proposent : « *c'est tout renvoie à une marque quelconque pouvant être éventuellement mémorisé* ». Cette dernière réponse est incorrecte, puisqu'elle est porteuse d'information difficile à appréhender dans le contexte de l'étude. Pour la question 4, un élève propose « *les réactifs utilisés sont un triester, un triglycéride, et une base forte comme le NaOH, KOH après avoir mesuré les différents réactifs et mélanger les dans un erlenmeyer et mélanger grâce à un agitateur magnétique* ». Ici par exemple, le vocabulaire « *empirique* » est utilisé avec « *l'erenmeyer, l'agitateur magnétique...* » le vocabulaire « *macroscopique* » avec le « *trieste, soude* » et le symbolique/visualisation avec « *NaOH...* ». Enfin, nous évaluons le pourcentage des niveaux employés (un, deux ou trois niveaux) ; par exemple pour la réponse précédente, nous comptons trois niveaux différents (empirique-macro-visualisation).

TABLEAU 1

Proportions des réponses correctes (en %) par question du prétest et du post test (Q1 à 3) et pourcentage des niveaux utilisés pour la question 4 pour le groupe expérimental

Tle C Expérimentale	Q1(%)	Q1-1(%)	Q2(%)	Q21(%)	Q3(%)	Q3-1(%)	Q4(%)
Prétest	86	57	90	14	62	62	macro 38 macro-empirique 19 macro-visualisation 10 macro-empirique visualisation 19 Pas de réponse 14
Post test	81	76	95	38	90	90	macro 5 empirique 5 macro-empirique 76 macro-empirique - visualisation 5 macro-visualisation 10

Le tableau 1 regroupe les résultats pour la classe de terminale C « expérimentale », en pourcentage de réponses correctes pour chacune des questions 1 à 3 et les différents niveaux utilisés pour la question 4.

En ce qui concerne la classe de terminale C expérimentale, à l'exception de la question 1 où on observe une baisse de 5% entre le prétest et le post test, on note une hausse globale de la proportion des réponses correctes pour la première série de questions. Pour la question 4, on remarque des variations des niveaux de savoir employés : une baisse des réponses données au niveau macroscopique (de 38 % à 5%), l'apparition de réponses au niveau empirique dans le post test (5%) et une augmentation de celles données aux niveaux macroscopique et empirique (de 19 % à 76%). La baisse du nombre d'élèves qui utilisent un seul niveau de savoir (ici le macroscopique et l'empirique) est intéressante puisque les élèves ayant manipulé ont convergé vers le niveau macroscopique et le niveau empirique à la fois. L'emploi des niveaux macroscopique et de la visualisation est constant. Enfin, une baisse de la proposition des réponses s'observe au niveau macroscopique-empirique-visualisation (de 19% à 5%), les élèves tendent à moins employer le symbolique/visualisation. Le taux d'abstention est nul au post test, montrant que les élèves se sont tous exprimés après les manipulations. Nous regardons à présent les résultats pour la classe de Terminale C « théorique » (Tableau 2).

TABLEAU 2

Proportions des réponses correctes (en %) par question du prétest et du post test (Q1 à 3) et pourcentage des niveaux utilisés pour la question 4 pour le groupe théorique

Tle C Théorique	Q1(%)	Q1-1(%)	Q2(%)	Q2-1(%)	Q3(%)	Q3-1(%)	Q4(%)
Prétest	86	50	100	14	77	50	macro 32 macro-empirique 9 macro-visualisation 23 macro-empirique - visualisation 18 Pas de réponse 18
Post test	50	50	77	14	77	91	macro 18 empirique 5 macro-empirique 27 macro-visualisation 14 macro-micro 5 macro-empirique visualisation 23 pas de réponses 9

En ce qui concerne les deux premières questions, une baisse s'observe entre les deux tests concernant les définitions que donnent les élèves du niveau macroscopique et du microscopique (de 86% à 50% et de 100% à 77%) ; cependant les résultats pour les exemples d'illustration associés à ces questions restent constants (50% et 14%). Le nombre de réponses correctes liées à l'exemple du symbolique augmente (de 50 % à 91%) tandis que les résultats concernant la définition sont constants (77%). Pour la question 4, on remarque une diversification et une variation du niveau employé entre le prétest et le post test. Lors du prétest par exemple, les élèves emploient beaucoup plus le niveau macroscopique (32%), alors que lors du post test, le niveau macroscopique et le niveau empirique sont beaucoup plus employés avec une proportion de 27%. Entre le prétest et le post test, trois baisses sont observées : celle du niveau macroscopique qui passe de 32% à 18%, ensuite, celle des niveaux macroscopique et visualisation qui passe de 23% à 14%, puis celle du taux d'abstention qui passe de 18% à 9%. Cette variation de réponses correctes entre le prétest et le post test semble prouver les difficultés

que rencontrent les élèves lors de la circulation entre les niveaux de savoir. Finalement, nous avons d'une part une augmentation de la circulation entre les niveaux puisque le nombre d'élèves qui utilisent plusieurs niveaux de savoir (macroscopique, empirique, visualisation) a augmenté (de 18% à 23%). D'autre part, les niveaux macroscopique et microscopique apparaissent au post test (5%).

Si l'on compare la classe C expérimentale avec la C théorique, nous observons de meilleurs résultats pour la classe expérimentale : sur les six premières questions, à l'exception de la question 1, les résultats « *corrects* » augmentent entre le prétest et le post test alors que pour la classe théorique, à l'exception de la question 3.1, les résultats « *corrects* » entre prétest et post test sont constants. Pour la question 4, globalement, le nombre de niveaux de savoir employés augmentent davantage pour la classe expérimentale. Il semblerait que le fait d'avoir manipulé permet aux élèves de mieux distinguer les niveaux de savoir.

Nous avons réalisé le test du Khi-carré pour l'ensemble des questions, pour voir s'il y a une différence significative entre les réponses des élèves avant et après expérimentation. Lorsque l'élève emploie correctement et à la fois le niveau empirique et celui de la modélisation macroscopique, on considère cette réponse comme correcte. Lorsque l'élève emploie uniquement un niveau, on considère la réponse comme incomplète. Le test du khi-carré au seuil de 5%, pour un degré de liberté égale à 1 permet de dire s'il y a une différence significative entre les réponses des élèves lors du passage du prétest au post test. La valeur du khi-carré au seuil de 5% utilisé pour les comparaisons est : $\chi_{\text{seuil}} = 3,841$: l'hypothèse de recherche est acceptée (les travaux pratiques améliorent la circulation entre les niveaux de savoir) lorsque $\chi_{\text{calculé}} > \chi_{\text{seuil}}$, avec une augmentation de la proportion des réponses correctes entre le prétest et le post test.

TABLEAU 3

Test du khi-carré pour chacune des questions pour les deux groupes

Questions	Q1	Q1-1	Q2	Q2-1	Q3	Q3-1	Q4
Tle C expérimentale	$\chi_{\text{calculé}} = 0,17$	$\chi_{\text{calculé}} = 1,714$	$\chi_{\text{calculé}} = 0,36$	$\chi_{\text{calculé}} = 3,078$	$\chi_{\text{calculé}} = 4,726$	$\chi_{\text{calculé}} = 4,726$	$\chi_{\text{calculé}} = 10,714$
Décisions	Hypothèse rejetée	Hypothèse rejetée	Hypothèse rejetée	Hypothèse rejetée	Hypothèse acceptée	Hypothèse acceptée	Hypothèse acceptée
Tle C théorique	$\chi_{\text{calculé}} = 6,706$	$\chi_{\text{calculé}} = 0$	$\chi_{\text{calculé}} = 5,642$	$\chi_{\text{calculé}} = 0$	$\chi_{\text{calculé}} = 0$	$\chi_{\text{calculé}} = 8,842$	$\chi_{\text{calculé}} = 1,504$
Décisions	Hypothèse rejetée	Hypothèse acceptée	Hypothèse rejetée				

Pour la classe expérimentale, l'hypothèse de recherche est acceptée pour les questions (3, 3-1 et 4), et uniquement pour la question 3-1 pour la classe théorique. Dans la classe expérimentale, concernant les trois premières questions, la valeur du khi-carré calculé est très faible ce qui montre que les difficultés des élèves persistent malgré le TP mis en place. Les élèves de la classe théorique semblent éprouver des difficultés majeures concernant les questions 1, 1-1, 2, 2.1, 3 et 4 puisque la valeur du khi-carré calculé est inférieure à la valeur seuil pour chacune de ces questions. Cependant, concernant les résultats de la question 3-1 où l'on note une augmentation significative entre les réponses du prétest et celles du post test, ceci serait dû à l'accent particulier mis sur le niveau symbolique : l'enseignant rend compte en effet des phénomènes expérimentaux *via* l'écriture de l'équation bilan conformément au programme en vigueur. En comparant les deux groupes (classes théorique et expérimentale), on observe une différence des niveaux employés pour la question 4. L'augmentation de l'utilisation de plusieurs niveaux est plus forte dans le cas du groupe expérimental. Les élèves qui parlent du

matériel de laboratoire (bécher, erlenmeyer...) sont dans le champ empirique, lorsqu'ils parlent du nom des substances et les représentent par une formule chimique, ils se déplacent vers les niveaux macroscopiques et symbolique/visualisation selon le cadre de Mzoughi-Khadhraoui et Dumon (2012). Par ailleurs, très peu d'élèves donnent des réponses qui s'orientent vers le niveau microscopique, ce qui semble indiquer que les élèves décrivent leurs observations, les représentent sans pour autant les expliquer. Néanmoins, il en ressort l'apport des TP dans la circulation entre les niveaux de savoir puisque les résultats de la question 4 sont significatifs dans le groupe expérimental.

Il semble donc qu'au vu des résultats plus satisfaisants de la classe « expérimentale », que les travaux pratiques permettent aux élèves de mieux définir et distinguer les niveaux de savoir en chimie. Il semble également qu'ils utilisent davantage ces niveaux et circulent entre ces derniers, leurs réponses étant plus riches.

CONCLUSION

L'observation des niveaux employés par les élèves après enseignement (question 4) montre qu'ils se limitent majoritairement à la description des objets du champ expérientiel et des événements au niveau macroscopique. Quelquefois ils les représentent au niveau symbolique/visualisation mais ils donnent rarement des explications au niveau microscopique. D'après Mzoughi-Khadhraoui et Dumon (2012), le rôle de l'enseignant dans ce cas 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. Ceci n'est toujours pas le cas puisque les niveaux symbolique/visualisation et microscopique ne sont pas employés au même titre que les niveaux empirique et macroscopique. Par ailleurs, les élèves bien que répondant correctement à la définition des niveaux de savoir donnent cependant de mauvais exemples ce qui confirme leur maîtrise insuffisante de ces niveaux. Les élèves éprouvent beaucoup plus de difficultés pour le niveau microscopique. Cependant, pour les élèves ayant réalisé le TP, nous notons une amélioration des proportions des réponses correctes lors du post test et une utilisation plus large des niveaux de savoir par rapport aux élèves de la classe théorique.

Cette première étude encourageante semble montrer que les travaux pratiques aident les élèves à circuler entre les niveaux de savoir. Il est maintenant nécessaire d'une part d'analyser les résultats d'autres classes. Il faudrait envisager d'autre part d'autres travaux pratiques qui permettraient de voir si certaines manipulations, autre que la saponification, permettent une meilleure circulation entre les niveaux, si certains TP sont plus aptes à mettre en jeu cette circulation. En effet, si l'objet de savoir était différent aurions-nous des résultats similaires ? Les activités expérimentales semblent en tout cas incontournables d'un enseignement de chimie. Nous pourrions envisager à plus long terme, une ou plusieurs activité(s) de remédiation mettant en jeu l'expérimentation, favorisant ainsi une meilleure compréhension de ces niveaux de savoir et le passage du niveau empirique au niveau microscopique, du niveau empirique au niveau symbolique/visualisation, du niveau microscopique au niveau symbolique/visualisation chez les élèves.

RÉFÉRENCES

Barlet, R. (1999). L'espace épistémologique et didactique de la chimie. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 93(817), 1423-1448.

- Canac, S. (2020). *Registre symbolique de la chimie (2/2) : Difficultés d'apprentissage*. Retrieved from <https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/enseignement-de-la-chimie/didactique/registre-symbolique-de-la-chimie-22-difficultes-d>.
- Coquidé, M. (2003). Face à l'expérimental scolaire. In J. P. Astolfi (Dir.), *Éducation, formation : Nouvelles questions, nouveaux métiers* (pp. 153-180). ESF.
- 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, Namur, Belgique.
- 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, 209-235.
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. (2009). Towards a coherent model for macro, submicro and symbolic representations in chemical education. In J. K. Gilbert & D. Treagust (Dir.), *Multiple representations in chemical education* (pp. 1-8). Dordrecht: Springer.
- Houart, M. (2009). *Étude 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, Belgique.
- Johnstone, A. H. (1982). Macro- and microchemistry. *School Science Review*, 64(227), 377-379.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75-83.
- Kermen, I. (2018). Comment le caractère dual, macroscopique-microscopique, de la chimie s'incarne-t-il dans son enseignement ? Réflexions autour des modèles et du langage. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, 112(1000), 95-108.
- 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*, 10(1), 24-34.
- Larcher, C., Chomat, A., & Lineatte, C. (1994). D'une représentation à une autre pour modéliser les transformations de la matière au collège. *Aster*, 18, 119-139.
- Laugier A., & Dumon A. (2004). L'équation de réaction : Un nœud d'obstacles difficilement franchissable. *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, 5(1), 51-68.
- Le Maréchal, J. F. (1999). Design of chemistry labwork activities aiming at teaching basic chemical concepts. In M. Méheut & G. Rebmann (Eds.), *4th ESERA Summer School: Theory, Methodology and Results of Research in Science Education* (pp. 68-81). Marly-le-Roi, France.
- Martinand, J. L. (1996). Introduction à la modélisation. In *Actes du séminaire des didactiques des disciplines technologiques, Cachan 1994-95* (pp. 126-138). Cachan, France.
- 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*, 6, 89-118.
- 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*, 14(2), 156-168.

Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: the many faces of the chemistry “triplet”. *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195.

Tiberghien, A., Psillos, D., & Koumaras, P. (1995). Physics instruction from epistemological and didactical bases. *Instructional Science*, 22(6), 423-444.