

Une activité de saponification comme dispositif didactique pour articuler les niveaux de savoirs en chimie

ERIC MARTIAL NGUETCHO¹, KARINE MOLVINGER²

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

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

ABSTRACT

This study explores the effects of an experimental activity on saponification on the mobilization of levels of knowledge in chemistry among final-year secondary students in Cameroon. Adopting a didactic approach, it analyzes students' productions based on an experimental activity designed to articulate macroscopic, microscopic, empirical, and symbolic registers. The comparison between a priori and a posteriori analyses, based on questionnaires, suggests that the implemented instructional design fosters students' awareness of these different levels of representation. The guided experimental activity thus appears to provide a favorable context for movement between different levels of knowledge. Finally, this exploratory research, based on a case study, opens up perspectives for further investigation into the conditions that facilitate the articulation of knowledge levels in chemistry.

KEYWORDS

Experimental activity, levels of knowledge, chemistry

RÉSUMÉ

Cette étude explore les effets d'une activité expérimentale portant sur la saponification sur la mobilisation des niveaux de savoirs en chimie chez des élèves de Terminale au Cameroun. S'inscrivant dans une approche didactique, elle analyse les productions d'élèves à partir d'une activité expérimentale conçue pour articuler les registres macroscopique, microscopique, empirique et symbolique. La comparaison entre analyses a priori et a posteriori, à partir des questionnaires, suggère que le dispositif mis en œuvre favorise une prise de conscience de ces différents niveaux de savoirs. L'activité expérimentale guidée apparaît ainsi comme un contexte propice à la circulation entre les différents niveaux de savoirs. Enfin, cette recherche exploratoire, fondée sur une étude de cas, ouvre des perspectives pour approfondir l'analyse des conditions favorisant l'articulation des niveaux de savoirs en chimie.

MOTS CLÉS

Activité expérimentale, niveaux de savoirs, chimie

INTRODUCTION

La chimie est la science qui étudie la matière, ses propriétés et ses transformations. Son apprentissage nécessite quelquefois une forte mobilisation cognitive chez l'apprenant et constitue l'objet de nombreuses recherches en didactique. C'est pour cela que Johnstone (1982) s'interroge sur les causes des difficultés rencontrées lors de l'apprentissage de la chimie. En effet, la complexité de la chimie peut trouver son origine dans l'existence de différents niveaux d'interprétation (Molvinger & Nguetcho, 2023), puisque l'élève est appelé à se déplacer du visible vers l'invisible, à conceptualiser, à modéliser et à représenter les réactions chimiques. Ainsi, de nombreux cadres théoriques ont été mis en place dans le but d'étudier les différents niveaux de savoirs en chimie pour améliorer les apprentissages des élèves (Dehon, 2018; Dumon & Mzoughi-Khadhraoui, 2014; Gilbert & Treagust, 2009; Houart, 2009; Johnstone, 1982, 1991; Kermen & Meheut, 2009; Taber, 2013; Talanquer, 2011). Ces modèles offrent des apports majeurs dans l'enseignement : distinction du niveau empirique et du niveau théorique et de la modélisation, division du sommet macroscopique du triangle de Johnstone (1982) en niveau de modélisation empirique et niveau macroscopique (Kermen & Meheut, 2009). On retient de l'ensemble de ces travaux que l'enseignement de la chimie gagne en efficacité lorsqu'il prend en compte la diversité des niveaux de savoirs – empirique, macroscopique, moléculaire, symbolique et théorique – et leurs articulations, afin de mieux accompagner les apprentissages des élèves. Dans le modèle de Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2014), que nous avons choisi d'utiliser ici, le registre symbolique est placé au même titre que les niveaux macroscopique et microscopique et de la situation expérimentale. Ce choix peut être justifié par plusieurs arguments. D'abord, le symbolique ne constitue pas seulement un outil de traduction entre macroscopique et microscopique : il possède une logique et des règles propres (formules, équations, nomenclature) qui structurent la pensée chimique. Ensuite, il s'agit d'un espace de savoirs à part entière, institutionnalisé par la communauté scientifique et source de difficultés spécifiques pour les élèves, ce qui légitime son statut de niveau autonome. Enfin, considérer le symbolique comme un niveau distinct permet de rendre compte de la complexité des obstacles d'apprentissage en chimie et d'expliquer pourquoi les apprenants peuvent réussir à manipuler des représentations symboliques sans pour autant comprendre les réalités microscopiques ou macroscopiques qu'elles désignent.

CONTEXTE

L'enseignement de la chimie au Cameroun est confronté à des difficultés persistantes, largement documentées en didactique, mais qui demeurent peu résolues dans les pratiques de classe. Parmi ces difficultés, la faible mise en œuvre des activités expérimentales constitue un enjeu central. En effet, plusieurs travaux (Coquidé, 2003; Kavula, 2019) soulignent que l'absence ou la rareté des travaux pratiques s'explique notamment par le manque de matériel, l'insuffisance d'infrastructures adaptées, une formation limitée des enseignants ou encore des contraintes organisationnelles.

Dans le contexte camerounais, malgré des initiatives institutionnelles telles que l'équipement en kits de micro-science ou l'intégration des travaux pratiques dans les évaluations certificatives (Nguetcho et al., 2023), ces dispositifs restent peu utilisés, notamment en raison des effectifs élevés dans les classes. Cette situation pose la question non seulement de l'accès aux activités expérimentales, mais aussi de leur rôle dans les apprentissages des élèves (Gruson, 2012).

Plus précisément, un enjeu majeur de l'enseignement de la chimie réside dans la capacité des élèves à articuler les différents niveaux de savoirs en chimie — empirique,

macroscopique, microscopique et symbolique. Des travaux de recherche (Dehon, 2018; Dehon & Snauwaert, 2015; Molvinger & Nguetcho, 2023) montrent que l'absence d'activités expérimentales tend à limiter les élèves à un seul niveau de compréhension, sans favoriser les mises en relation nécessaires à la construction du sens de la notion. À l'inverse, les concepts chimiques deviennent plus opératoires lorsque les élèves sont engagés dans une circulation entre ces niveaux, notamment à travers des activités expérimentales et des supports de visualisation variés.

Dans ce cadre, notre recherche ne vise pas à réaffirmer la complexité de la chimie, déjà largement étudiée, mais à interroger plus spécifiquement les approches didactiques permettant de favoriser cette circulation entre niveaux de savoirs. Nous nous intéressons ainsi au rôle d'une activité expérimentale conçue comme un dispositif didactique structuré.

Ainsi, cet article a pour objectif d'analyser dans quelle mesure la mise en place d'un travail pratique permet d'améliorer la circulation entre les niveaux empirique, macroscopique, microscopique et symbolique chez les élèves.

CADRE THÉORIQUE

La théorie des niveaux de savoirs

Ce cadre s'inscrit dans la continuité des travaux de Johnstone (1982), qui a proposé le « chemistry triplet » structuré autour des niveaux macroscopique, microscopique et symbolique. Ce modèle a ensuite été enrichi et discuté par de nombreux chercheurs (Gilbert & Treagust, 2009; Kermen & Méheut, 2009; Taber, 2013; Talanquer, 2011), notamment en ce qui concerne le rôle du registre symbolique dans les apprentissages.

En particulier, Taber (2013) souligne que le domaine symbolique ne constitue pas un niveau isolé, mais qu'il est au cœur de la pensée chimique, en interaction constante avec les niveaux macroscopique et microscopique. À l'inverse, Johnstone (1991) considère que les représentations symboliques peuvent constituer un niveau supplémentaire pour les élèves débutants. Dans une perspective proche, Talanquer (2011) élargit ce registre en y intégrant les dimensions visuelles (schémas, modèles, diagrammes), qu'il regroupe sous l'appellation de « niveau de visualisation ». Ainsi, le registre symbolique/visuel participe pleinement au monde des théories et des modèles en chimie.

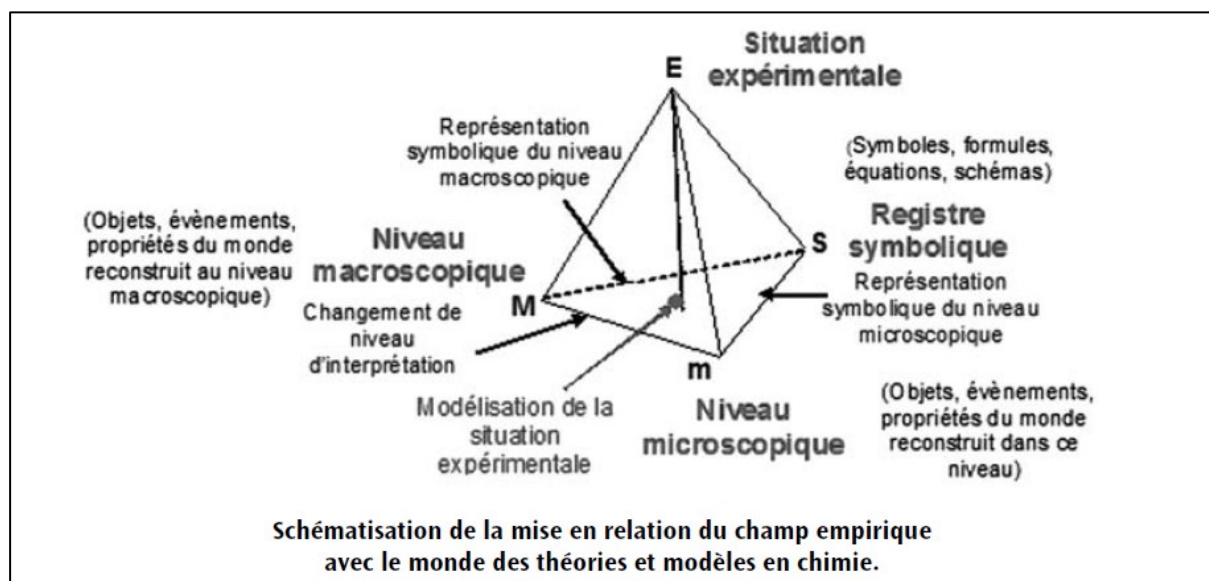
Dans le prolongement de ces travaux, le modèle du tétraèdre proposé par Dumon et Mzoughi Khadhraoui (2014) introduit une évolution importante : il intègre explicitement la situation expérimentale comme un pôle à part entière, en complément des niveaux macroscopique, microscopique et symbolique. Le modèle retenu dans cette étude (Figure 1) permet ainsi de relier le vocabulaire et les actions associés à l'activité expérimentale aux descriptions des phénomènes observables ainsi qu'aux interprétations théoriques et aux représentations symboliques.

Plus précisément, ce modèle distingue quatre sommets. Le sommet **E** renvoie à la situation expérimentale, c'est-à-dire aux manipulations, aux dispositifs et aux objets matériels mobilisés en laboratoire. Le sommet **M** correspond au niveau macroscopique, qui concerne les phénomènes observables et décrits en termes de substances et de transformations sans recours à une modélisation particulière. Le sommet **m** désigne le niveau microscopique, associé à l'interprétation des phénomènes en termes d'atomes, de molécules ou d'ions. Enfin, le sommet **S** représente le registre symbolique, dans lequel les phénomènes sont exprimés à l'aide de formules chimiques, d'équations et de notations spécifiques.

Au-delà de ces sommets, le modèle met en évidence les relations entre ces niveaux. Le passage de la situation expérimentale au niveau macroscopique (arête **EM**) correspond à la description des observations issues de l'expérience, en termes de phénomènes perceptibles

(changement de couleur, formation d'un précipité, etc.), sans recours à une formalisation symbolique. La modélisation symbolique des transformations (arête **SM**) se traduit par l'écriture d'équations chimiques intégrant formules et coefficients stœchiométriques. La relation entre la situation expérimentale et le registre symbolique (arête **ES**) peut s'appuyer sur des représentations telles que des schémas ou des dessins de dispositifs. Le passage du registre symbolique au niveau microscopique (arête **Sm**) permet d'interpréter les équations chimiques en termes de transformations particulières. Enfin, la relation entre les niveaux macroscopique et microscopique (arête **Mm**) correspond à un changement de niveau d'interprétation, essentiel pour donner du sens aux phénomènes observés.

FIGURE 1



Tétraèdre de Kermen et Méheut (2009) révisé par Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2014)

Au-delà de ces sommets, le modèle met en évidence les relations entre ces niveaux. Le passage de la situation expérimentale au niveau macroscopique (arête **EM**) correspond à la description des observations issues de l'expérience, en termes de phénomènes perceptibles (changement de couleur, formation d'un précipité, etc.), sans recours à une formalisation symbolique. La modélisation symbolique des transformations (arête **SM**) se traduit par l'écriture d'équations chimiques intégrant formules et coefficients stœchiométriques. La relation entre la situation expérimentale et le registre symbolique (arête **ES**) peut s'appuyer sur des représentations telles que des schémas ou des dessins de dispositifs. Le passage du registre symbolique au niveau microscopique (arête **Sm**) permet d'interpréter les équations chimiques en termes de transformations particulières. Enfin, la relation entre les niveaux macroscopique et microscopique (arête **Mm**) correspond à un changement de niveau d'interprétation, essentiel pour donner du sens aux phénomènes observés.

Ainsi, le modèle du tétraèdre met en évidence que l'apprentissage de la chimie repose sur une circulation entre ces différents niveaux, circulation que cette étude se propose d'analyser dans le cadre d'une activité expérimentale.

La réalisation de travaux pratiques constitue un dispositif central dans l'enseignement des sciences expérimentales. Toutefois, leur efficacité ne dépend pas uniquement de leur mise en œuvre, mais des conditions dans lesquelles les activités sont organisées et interprétées par les élèves. En effet, les élèves peuvent rester centrés sur la manipulation ou sur la description des phénomènes sans parvenir à établir des liens explicites entre les différents niveaux de savoirs de la chimie (expérimental, macroscopique, microscopique et symbolique). Ainsi,

l'activité expérimentale, selon la manière dont elle est menée, pourrait favoriser la circulation entre ces niveaux, essentielle à la compréhension des concepts chimiques.

Dans cette perspective, et en nous appuyant sur le modèle du tétraèdre de Dumon, nous considérons que l'apprentissage de la chimie repose sur la capacité des élèves à articuler ces différents niveaux de représentation. Dès lors, notre question de recherche est la suivante : dans quelle mesure une activité expérimentale permet-elle de favoriser la circulation et l'articulation entre les niveaux expérimental, macroscopique, microscopique et symbolique chez les élèves ?

CADRE MÉTHODOLOGIQUE

Description de l'expérimentation

Le corpus comprend la description du déroulement du TP et l'analyse d'une question (issue d'un questionnaire donné aux élèves avant et après le cours et le TP pour le groupe expérimental et avant et après le cours pour le groupe témoin). Cette expérimentation devrait nous permettre d'apporter des éléments de réponse à notre question de recherche.

L'expérimentation a été réalisée dans un lycée de Yaoundé, le lycée bilingue de Nkol-Eton, auprès de trois classes de Terminale scientifique réparties en deux groupes : un groupe expérimental (Tle exp) et un groupe témoin (Tle théo). Le groupe expérimental comprend 52 élèves et le groupe témoin 53 élèves. L'homogénéité des groupes a été vérifiée à partir de variables telles que le sexe, l'âge et les résultats scolaires. Une comparaison des moyennes a été effectuée à l'aide d'un test statistique (test de Student), permettant de conclure à l'absence de différence significative entre les groupes au seuil retenu.

Les deux groupes ont été soumis à une même tâche avant et après l'expérimentation. La consigne était la suivante : « *Nous désirons fabriquer du savon ; après avoir décrit les réactifs à utiliser, leurs rôles, proposer un protocole de fabrication du savon* ».

L'analyse des productions des élèves porte sur les niveaux de savoir mobilisés dans leurs réponses, en référence au modèle du tétraèdre de Dumon et Mzoughi-Khadhraoui (2014). Toutefois, ces niveaux ne sont pas déterminés uniquement à partir de mots-clés isolés, mais en tenant compte du contexte d'énonciation et de la fonction des termes dans le discours de l'élève. Ainsi, le niveau expérimental correspond aux éléments relatifs à l'action et à la manipulation (matériel, organisation du protocole). Le niveau macroscopique renvoie à la description des substances et des phénomènes observables (transformations visibles, notions de réactif et produit dans un contexte descriptif). Le niveau microscopique correspond aux interprétations en termes d'entités particulières (atomes, molécules, ions) lorsque celles-ci sont mobilisées pour expliquer les phénomènes. Enfin, le registre symbolique concerne l'usage de formules chimiques et d'équations de réaction lorsqu'elles sont utilisées comme représentations des transformations chimiques. Cette catégorisation repose donc sur une analyse sémantique des productions, visant à identifier le niveau de savoir effectivement mobilisé par l'élève dans son raisonnement, et non sur une simple occurrence lexicale.

La photographie ci-dessous (Figure 2) représente le matériel du laboratoire que nous avons apporté en salle de classe. Il 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.

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

- Fabriquer du savon
- Expliquer le TP, la réaction en utilisant les différents niveaux de savoirs (macroscopique, microscopique, symbolique, empirique). L'objectif pour la

recherche est de voir si le fait de manipuler permet aux élèves d'appréhender les différents niveaux de savoirs et de pouvoir circuler entre eux.

FIGURE 2



Matériel utilisé

L'énoncé du TP est décrit Figure 3. 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 ».

FIGURE 3

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 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.

Matériel par poste de travail (phase d'action)

-Bécher 100 mL

-Huile de palme

-Soude

-Silicate de sodium

-Moule

-Spatule

-Éprouvette

Préparation de la solution de soude (phase d'action)

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

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

Protocole expérimental

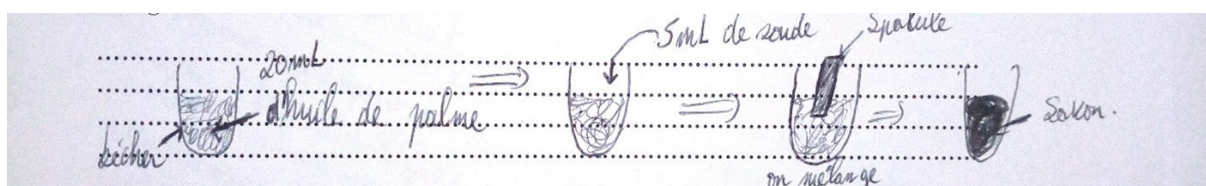
Dans ce dispositif, l'enseignant met en œuvre une activité expérimentale fortement guidée. Les élèves sont invités à réaliser une réaction chimique à partir d'un protocole fourni et à en rendre compte à travers la description et l'interprétation de leurs observations. L'objectif de l'activité est de favoriser la mobilisation de différents niveaux de savoirs de la chimie, notamment les niveaux expérimental, macroscopique, microscopique et symbolique. Toutefois, la tâche ne repose pas sur une problématisation ouverte. Les élèves ne sont pas conduits à formuler eux-mêmes le problème scientifique ni à interroger les conditions de la réaction. L'activité s'apparente donc à une réalisation de protocole accompagné, dans laquelle le questionnement scientifique est largement structuré en amont.

Au cours de la séance, les élèves échangent sur les étapes de la manipulation, réalisent les gestes expérimentaux et consignent leurs observations. L'enseignant présente le matériel, sécurise la manipulation et veille au respect du protocole. Il demande également aux élèves d'identifier les réactifs en précisant leurs caractéristiques observables (couleur, état, nom) ainsi que leurs formules chimiques.

Dans ce cadre, l'intérêt du dispositif ne réside pas dans la construction du problème par les élèves, mais dans l'analyse de la manière dont une activité expérimentale guidée mobilise les différents niveaux de savoir de la chimie.

D'après les traces écrites, les élèves écrivent facilement l'équation bilan de la réaction de saponification car ils ont des prérequis théoriques 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 ; 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. L'enseignant interroge les élèves sur le rôle des signes présents dans une équation bilan.

Les élèves donnent des schémas descriptifs de la réaction (Figure 4) ou des mots décrivant la réaction.

FIGURE 4*Production d'élève*

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. Il s'appuie sur le déroulé de la séance durant laquelle 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 (observations), représentatif (équation bilan) et explicatif (modélisation) en rapport direct avec les catégories (empirique, macroscopique, microscopique et symbolique) proposées par les élèves. À la fin du débat, les élèves rédigent chacun un compte rendu guidé qui fera l'objet d'une autre publication.

Les élèves discutent de leurs résultats à la fin de l'expérimentation ; l'enseignant régule les échanges. 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. Enfin, lorsque l'élève décrit l'expérience par un schéma il se réfère aux modèles. Le rôle de l'enseignant en tant que médiateur est d'aider l'élève à circuler entre les différents niveaux de savoir en s'appuyant sur le TP. Durant l'activité, l'enseignant joue un rôle important puisqu'il guide l'action didactique et soutient l'élaboration conceptuelle des élèves (Nkeck Bidias, 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, au niveau 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 savoirs, l'enseignant les amène à regrouper les savoirs dans différents niveaux.

FIGURE 5*Photographies d'élèves qui manipulent*

RÉSULTATS ET ANALYSES

Nous nous intéressons maintenant à l'analyse de la question « *Nous désirons fabriquer du savon; après avoir décrit au maximum les réactifs à utiliser, leurs rôles, proposer un protocole de fabrication du savon* », donnée à l'ensemble des élèves des trois Terminales (à la fois ceux

qui ont réalisé le TP et ceux qui ne l'ont pas fait). Nous comptabilisons le nombre d'élèves (des deux groupes, expérimental et témoin) ne mobilisant qu'un seul niveau et ceux en mobilisant deux ou trois pour la réponse à la question précédente posée avant et après expérimentation. Pour le groupe expérimental, l'expérimentation correspond au TP et pour le groupe témoin au cours magistral uniquement (Tableau 1).

TABLEAU 1

Classement des réponses à la question posée avant et après expérimentation pour les deux groupes d'élèves (en nombre d'élèves et pourcentage entre parenthèses)

	Avant	Expérimentation	Après	Expérimentation
Classes	Tle exp	Tle théo	Tle exp	Tle théo
1 seul niveau	15 (29%)	20 (38%)	5 (10%)	14 (26%)
2 ou 3 niveaux	30 (58%)	25 (47%)	47 (90%)	37 (70%)
Pas de réponse	7 (13%)	8 (15%)	0	2 (4%)

D'après le tableau 1, en classe de terminale expérimentale, lors de l'analyse a priori, 29% des élèves emploient un seul niveau de savoir en l'occurrence le macroscopique et 58% en utilisent plusieurs à savoir deux niveaux à la fois (empirique / macroscopique et macroscopique / symbolique) et trois niveaux (macroscopique, empirique et symbolique). Certains ne donnent pas de réponse (13%). Les réponses de la classe de terminale théorique pour l'analyse a priori se répartissent comme suit : 10% des élèves n'évoquent qu'un seul niveau de savoir, 47% plusieurs et 15% ne donnent pas de réponse. Les catégories mobilisées sont les mêmes que pour la classe expérimentale. 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'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. 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 ($\text{Na}^+ + \text{OH}^-$) 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 « ($\text{Na}^+ + \text{OH}^-$) » pour le niveau symbolique.

Si on regarde maintenant les réponses a posteriori, après l'expérimentation, les types de réponses pour les classes expérimentales se répartissent ainsi : 10% des élèves ne donnent qu'un seul niveau de savoir (macroscopique ou empirique) et 90% en donnent deux ou trois (macroscopique / empirique ou macroscopique / symbolique ou microscopique / empirique ou macroscopique / empirique / symbolique ou macroscopique / microscopique / empirique). Tous les élèves donnent une réponse. Quant aux élèves des classes théoriques, les réponses se répartissent de la manière suivante : 26% ne donnent qu'un seul niveau de savoir (les mêmes que pour le groupe expérimental), 37% plusieurs (à savoir macroscopique / empirique ou macroscopique / symbolique ou microscopique / macroscopique ou macroscopique / empirique / symbolique) et 4% ne donnent aucune réponse. Intéressons-nous aux exemples de réponses. Un premier élève propose la réponse suivante pour le niveau macroscopique uniquement : « *réactifs 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 réactifs et tourner ». Dans cette réponse, nous avons par exemple les termes « mélanger », « tourner » pour le niveau empirique. Un troisième élève propose la réponse suivante : « 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 suivante : « réactif ; le triester (glycérol), soude (NaOH) - prélever 20mL d'huile de palme (glycérol) introduire dans un bécher 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'à 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. Un cinquième élève propose la réponse suivante pour le niveau macroscopique et le niveau symbolique : « par la fabrication du savon il faut un triester (corps gras) exemple l'oléine. 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.

Nous comparons maintenant l'évolution des résultats avant et après expérimentation pour les deux groupes (exp et théo) (Tableau 2).

TABLEAU 2
Comparaison de l'évolution des réponses des deux groupes d'élèves

Classes expérimentales	Avant expérimentation	Après expérimentation
1 seul niveau	15	5
2 ou 3 niveaux	30	47

Le chi deux est égal à 8.29, ce qui est significatif (à 5%).

Classes théoriques	Avant expérimentation	Après expérimentation
1 seul niveau	20	14
2 ou 3 niveaux	25	37

Le chi deux est égal à 3,019, ce qui n'est pas significatif (à 5%).

Le calcul du chi deux nous permet de montrer que l'évolution des résultats des classes expérimentales sont significatives, c'est-à-dire que l'activité expérimentale sur la saponification a été bénéfique pour la circulation entre les niveaux de savoir : les élèves en utilisent plusieurs alors qu'avant expérimentation ils sont plus nombreux à en utiliser qu'un seul. Par contre pour les classes théoriques, qui n'ont pas suivi l'activité expérimentale, l'évolution n'est pas significative.

Ainsi, dans la limite de notre étude (échantillon d'environ une centaine d'élèves), les résultats montrent que les productions des élèves mobilisent des éléments relevant de différents niveaux de savoirs de la chimie. Toutefois, ces résultats doivent être interprétés avec prudence. En effet, l'analyse repose sur l'identification des niveaux mobilisés à partir des productions écrites des élèves, ce qui ne permet pas d'inférer directement une compréhension stabilisée des concepts ni une réelle circulation entre les niveaux de savoirs. L'usage de termes relevant de registres différents peut refléter des logiques variées, allant de la juxtaposition d'éléments appris à des tentatives d'articulation conceptuelle.

Dans cette perspective, nos résultats mettent davantage en évidence une diversité des registres mobilisés par les élèves dans un contexte de tâche expérimentale guidée, qu'une

preuve directe d'une appropriation complète des niveaux de représentation ou de leur articulation.

Ces résultats invitent ainsi à poursuivre l'analyse des conditions didactiques susceptibles de favoriser non seulement la mobilisation, mais aussi l'articulation effective entre les différents niveaux de représentation en chimie.

CONCLUSION

Concernant les résultats obtenus, outre l'acquisition de gestes expérimentaux liés à la fabrication du savon (niveau empirique, notamment à travers l'utilisation de la verrerie et la réalisation du protocole), les analyses montrent que les productions des élèves mobilisent différents niveaux de savoir de la chimie.

Plus précisément, les élèves produisent des éléments relevant du niveau macroscopique, puis, selon les cas, du niveau microscopique et du registre symbolique, ou encore articulent directement la situation expérimentale à des formes de modélisation symbolique.

La comparaison des analyses a priori et a posteriori, appuyée par les questionnaires, suggère que l'activité expérimentale mise en œuvre peut favoriser la prise de conscience et la mobilisation de différents niveaux de savoirs. Toutefois, ces résultats doivent être interprétés comme des indices de mobilisation plutôt que comme la preuve d'une appropriation stabilisée ou d'une véritable circulation systématique entre les niveaux de savoirs.

En conclusion, la mise en œuvre d'une activité expérimentale guidée constitue un contexte propice à la mobilisation de plusieurs registres de savoirs en chimie. Elle semble offrir des opportunités de passage entre niveaux, même si ces passages restent hétérogènes et dépendants des élèves. Dans ce sens, elle peut contribuer à la structuration progressive des apprentissages en chimie, sans pour autant garantir à elle seule une compréhension intégrée des différents niveaux de savoirs.

Enfin, cette étude, de type exploratoire et fondée sur une étude de cas, présente des limites liées notamment à la taille de l'échantillon et à la nature des données analysées. Elle invite ainsi à des investigations complémentaires afin d'affiner l'analyse des conditions favorisant l'articulation entre les niveaux de savoirs en chimie.

RÉFÉRENCES

- 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, Belgique.
- 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.
- 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*, 15(1), 70-80. <http://dx.doi.org/10.1039/C3RP00126A>.

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.

Gruson, C. (2012). *L'expérimentation scientifique permet-elle le développement de l'esprit critique de l'élève ?* Mémoire de master 2 spécialité professorat des écoles, Institut Universitaire de formation des maîtres, École interne de l'Université d'Artois, France.

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*. Thèse de doctorat, Université de Namur, Belgique. <http://hdl.handle.net/2078.2/22713>.

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. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>.

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.

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.

Molvinger, K., & Nguetcho, E. (2023). Le point de vue des enseignants sur la place des niveaux de savoir dans le programme de chimie au Cameroun. *Mediterranean Journal of Education*, 3(1), 50-62. <https://doi.org/10.26220/mje.4147>.

Nguetcho, E. M., Molvinger, K. & Nkeck Bidias, R. S. (2023). Analyse des niveaux de savoir (macroscopique, microscopique, symbolique et empirique) dans le programme de chimie au Cameroun : Cas du sous cycle d'observation 6^e / 5^e, *Mediterranean Journal of Education*, 3(2), 279-289. <https://doi.org/10.26220/mje.4639>.

Nkeck Bidias, R. S. (2013). Éveil scientifique et technologique à l'école maternelle : De l'expression orale à la construction des savoirs. *Revue Petite Enfance*, 00, 82-104.

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.