

Les difficultés des élèves face au langage du chimiste

Canac, Sophie⁽¹⁾, Kermen, Isabelle⁽²⁾

⁽¹⁾LDAR, Université Paris Est Créteil, Universités d'Artois, Cergy Pontoise, Paris Diderot, Paris Est Créteil, Rouen - France

⁽²⁾LDAR, Université d'Artois, Universités Cergy Pontoise, Paris Diderot, Paris Est Créteil, Rouen, - France

Résumé : L'apprentissage du langage de la chimie est une difficulté pour les élèves dont les enseignants n'ont pas toujours conscience. Les symboles utilisés en chimie sont un outil puissant permettant de travailler sur les différents niveaux de savoir : empirique, modèles macroscopiques et modèles microscopiques. Une bonne utilisation du langage du chimiste nécessite, en dehors de la connaissance des symboles, une maîtrise des concepts qui sont implicitement véhiculés et un référent empirique suffisant. Nous pensons qu'il est alors nécessaire de développer un apprentissage spécifique de ce langage en lien avec les autres niveaux de savoir. Nous avons réalisé un état des lieux des difficultés des élèves à propos de l'utilisation des noms chimiques et des formules brutes. Nous avons fait passer un questionnaire à plus de six cents élèves de la quatrième jusqu'à la première année de licence. Nous avons voulu vérifier si les élèves sont capables d'associer des critères macroscopiques et microscopiques à un nom chimique ou à une formule brute. Nous avons également testé s'ils sont capables de décoder correctement une formule brute hors contexte d'utilisation et si leur interprétation persiste dans le cadre d'une réaction chimique. Moins d'un quart des élèves interrogés, tous niveaux confondus, associent correctement aux noms ou aux formules brutes des espèces chimiques eau, carbone, dioxygène ou dioxyde de carbone, les critères corps pur, mélange, atome et molécule. Si les élèves dès la seconde semblent décoder correctement une formule brute, moins de dix pour cent indiquent, dans le cas d'une équation chimique, que la formule H_4O_2 ne représente pas la molécule d'eau. Au vu des difficultés constatées, nous souhaitons apporter des outils aux enseignants sur l'apprentissage du langage du chimiste, notamment en élaborant une nouvelle ressource sur l'enseignement de la formule brute en lien avec l'histoire de la chimie.

Mots-clés : chimie, langage symbolique, difficultés des élèves.

Introduction

Que signifie le symbole « C » ? Pour un chimiste, cela représente le carbone, et non la troisième lettre de l'alphabet, et, en fonction du contexte, l'élément chimique, l'atome, ou l'espèce carbone solide. La définition de la sémiosis proposée par Marty et Marty (1992) correspond au continuuel travail du chimiste :

« c'est un processus qui se déroule dans l'esprit de l'inter – prète : il débute avec la perception du signe et se termine avec la présence à son esprit de l'objet du signe. C'est un processus inférentiel. [...]. Il s'agit d'une sorte d'enquête dont nous sommes le plus souvent inconscients dans la vie quotidienne car sa répétition à tout instant a créé en nous des habitudes d'interprétation quasiment instantanées. » (Marty & Marty, 1992)

L'enseignant n'a pas nécessairement conscience des difficultés des élèves et de l'étayage à fournir pour leur permettre l'interprétation et l'utilisation correctes de ce langage. Nous avons donc voulu réaliser un état des lieux des difficultés des élèves pour montrer la nécessité de développer dans l'enseignement de la chimie un travail spécifique autour du langage du chimiste.

Cadres didactiques : de Johnstone à Taber

Kermen et Méheut (2009), s'appuyant sur le triangle de Johnstone (1993), présentent quatre niveaux de savoirs en chimie qui interagissent : deux niveaux pour les modèles (macroscopique et microscopique), un niveau empirique et un niveau symbolique.

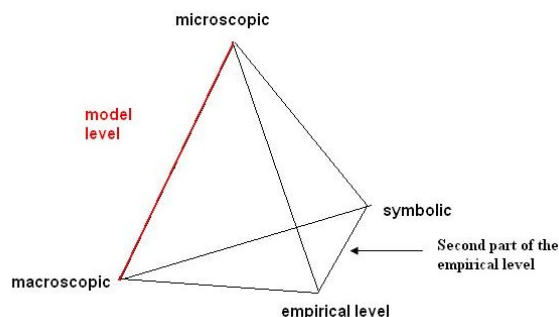


Fig 1 : Le niveau symbolique en interaction avec le niveau empirique et les niveaux des modèles : macroscopique et microscopique

Pour Taber (2013), le langage du chimiste, notamment autour de la réaction chimique, est un méta niveau permettant de travailler à la fois sur le macroscopique (les substances) et sur le microscopique (les particules) à partir des mêmes symboles et ce qui pourrait être considéré comme une imprécision devient une richesse pour le chimiste mais une difficulté pour l'apprenant. Pour Talanquer (2011), un élève peut devenir assez compétent pour manipuler une équation chimique sans véritablement comprendre les concepts sous-jacents et modèles associés. Que l'on considère le niveau symbolique comme un niveau de savoir ou un méta niveau, nous pensons qu'un apprentissage de la chimie sans un enseignement de son langage en lien avec les niveaux empirique, macroscopique et microscopique peut mettre les élèves en difficulté.

Les difficultés des élèves : bilan des recherches antérieures

Taskin et Bernholt (2014) ont fait un bilan des recherches au cours de ces 30 dernières années dans les pays anglo-saxons relevant à la fois des difficultés d'ordre syntaxique et d'ordre conceptuel dans l'utilisation des symboles : des symboles chimiques compris comme de simples abréviations (Al-Kunifed et al, 1993), CH_2O considéré comme un carbone lié à de l'eau ou SiO_2 équivalent à Si_2O_4 (Keig et Rubba, 1993). L'utilisation des formules brutes se rapporte parfois à une simple manipulation arithmétique (Sanger, 2005). Des travaux en France et en Tunisie montrent également des difficultés dans l'application des conventions et des règles pour les formules brutes dans le cadre des réactions chimiques (Mzoughi-Khadhraoui et Dumon, 2012) ainsi que des difficultés pour passer d'un niveau d'interprétation macroscopique à un niveau microscopique (Laugier et Dumon, 2004).

Questions de recherche et méthodologie :

«L'utilisation d'un signe sans explication par un enseignant peut référer à la fois aux concepts macroscopiques et aux concepts microscopiques alors qu'un élève ne peut y voir qu'une lettre ou un chiffre sans aucun lien avec le phénomène chimique observé » (Dehon et Snauwaert, 2015).

Nous pensons que l'apprenant ne peut mener seul le travail sur les symboles en lien avec les autres niveaux de connaissance. Pour développer cet apprentissage dans l'enseignement de la chimie en France, nous avons décidé de nous limiter dans un premier temps aux noms chimiques et aux formules brutes et essayé de répondre aux questions suivantes :

- les élèves sont-ils capables d'associer correctement à un nom chimique et / ou à une formule brute des caractéristiques à la fois du niveau macroscopique (corps pur et mélange) et du niveau microscopique (atome et molécule) ? Y a-t-il une différence dans les réponses fournies pour le nom ou la formule ?
- les élèves sont-ils capables de coder ou décoder une formule brute en lien avec le concept de molécule hors contexte d'utilisation puis dans le cadre d'une réaction chimique, utilisation principale de la formule brute ?

Nous avons fait passer un questionnaire à des élèves ou étudiants de la classe de quatrième jusqu'en première année de licence L1. Celui-ci a été élaboré après une série d'entretiens exploratoires avec dix élèves de seconde interrogés en binôme en octobre 2014 dans deux établissements de la région parisienne. Nous avons ensuite demandé à des enseignants de plusieurs villes françaises de faire passer le questionnaire à leurs élèves. Nous avons recueilli 603 réponses anonymes entre décembre 2014 et juin 2015.

Nous avons analysé les réponses par niveaux scolaires avant orientation (collège : 4^{ème} et 3^{ème}, lycée : seconde, lycée : première et terminale scientifiques, licence : L1).

Pour répondre à la première question, nous avons demandé aux élèves pour une série de noms (dioxygène, eau, cyclohexane, charbon, méthane, carbone, pétrole, dioxyde de carbone) puis de formules (O_2 , H, H_2O , C, CO_2 , C_2H_6O , Fe) de cocher un ou plusieurs des critères suivants: corps pur, mélange, atome et molécule. Les réponses concernant les espèces chimiques présentes dans les deux situations doivent apporter les éléments de comparaison entre noms et formules.

Pour répondre à la deuxième question, nous avons d'abord proposé aux élèves trois couples de formules brutes en leur demandant si chaque couple correspondait à la même molécule (H_2O et H_2O_2 , O et O_2 , CH_4 et C_2H_8). Le premier cas doit nous permettre de vérifier la capacité des élèves à lire une formule. Les suivants doivent nous permettre de vérifier la maîtrise du concept de molécule (différence entre atome et molécule, et nombre d'atomes invariables dans la molécule). Nous avons ensuite proposé aux élèves deux paires d'équations de réaction, l'une censée représenter la décomposition de l'eau en dihydrogène et dioxygène ($2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$ et $H_2O \rightarrow H_2 + O$) et l'autre la combustion du méthane avec formation de dioxyde de carbone et d'eau ($CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + H_4O_2$ et $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$). Du point de vue de la conservation des éléments chimiques, ces équations semblent correctes mais dans chaque paire, une des équations est associée à une formule brute incorrecte. Nous leur avons demandé de se prononcer sur la validité des équations. Pour toutes les situations, les élèves devaient répondre en cochant oui ou non et en expliquant leurs choix.

Résultats

Association de critères macroscopique et microscopique aux noms et formules brutes

Les pourcentages de réponses correctes pour les noms figurent dans le tableau 1 et pour les formules dans le tableau 2.

	carbone	eau	dioxygène	dioxyde de carbone	méthane	cyclohexane
Collège (N = 233)	9%	8%	11%	4%	3%	3%
Seconde (N = 178)	21%	19%	8%	3%	2%	2%
Première et terminale (N = 147)	22%	16%	14%	5%	7%	4%
Licence (N = 45)	40%	18%	33%	7%	11%	9%

Tableau 1 : pourcentage de réponses correctes par niveau scolaire pour chaque nom sur l'ensemble des critères (corps pur, mélange, molécule, atome)

	C ₂ H ₆ O	CO ₂	H ₂ O	O ₂	Fe	C
Collège (N = 233)	2%	5%	6%	15%	7%	13%
Seconde (N = 178)	2%	3%	8%	15%	25%	29%
Première et terminale (N = 147)	4%	6%	12%	16%	22%	22%
Licence (N = 45)	7%	4%	16%	33%	36%	49%

Tableau 2: pourcentage de réponses correctes par niveau scolaire pour chaque formule sur l'ensemble des critères (corps pur, mélange, molécule, atome)

Moins d'un quart des élèves de première ou terminale scientifique sont capables de catégoriser correctement en corps pur, mélange, atome ou molécule, que ce soit à partir du nom d'une espèce chimique (tableau 1) ou de sa formule (tableau 2). Il semble ne pas y avoir de différence significative obtenue dans les réponses entre le nom et la formule pour les substances parfaitement connues des élèves dès le collège. Si on analyse les réponses uniquement pour corps pur et mélange puis pour atome et molécule, les plus grandes difficultés se situent sur les critères macroscopiques. Les notions de corps pur et mélange ne semblent pas du tout maîtrisées par les élèves et nous n'observons pas d'amélioration significative avec le niveau scolaire.

Décodage d'une formule brute en lien avec le concept de molécule

Nous avons obtenu pour chaque couple proposé les pourcentages de réponses correctes suivants :

	H ₂ O et H ₂ O ₂ ne correspondent pas à la même molécule	O et O ₂ ne correspondent pas à la même molécule	CH ₄ et C ₂ H ₈ ne correspondent pas à la même molécule
Collège (N = 233)	57%	47%	43%
Seconde (N = 178)	85%	70%	56%
Première et terminale (N = 147)	87%	77%	58%
Licence (N = 45)	98%	76%	67%

Tableau 3 : pourcentage de réponses correctes par niveau scolaire pour chaque couple sur le fait de correspondre ou non à la même molécule

Si le premier exemple ne semble plus poser de problème dès la seconde, ils sont moins de 60% en première et terminale scientifiques à considérer que CH₄ et C₂H₈ ne sont pas

identiques (tableau 3). L'explication majoritairement obtenue parmi les élèves qui se trompent est que C_2H_8 est égale à deux fois CH_4 . Le concept de molécule, entité constituée d'atomes dans un nombre fixé et invariable, ne semble donc pas maîtrisé. De plus un quart des élèves de première et terminale ne font toujours pas la différence entre l'atome et la molécule pour O et O_2 (tableau 3).

Enfin en regardant les élèves qui refusent l'équation avec la formule brute incorrecte (tableau n°4), nous obtenons les pourcentages suivants:

	Non à l'équation avec O	Non à l'équation avec H_4O_2	Non aux équations avec O et H_4O_2 avec justification
Collège (N = 233)	15%	23%	0%
Seconde (N = 178)	13%	22%	2%
Première et terminale (N = 147)	45%	39%	13%
Licence (N = 45)	67%	80%	36%

Tableau n°4 : pourcentage de réponses correctes par niveau scolaire pour l'équation présentant la formule brute incorrecte

Si on ne conserve que les réponses avec une justification correcte, soit un rejet explicite des formules O pour le dioxygène et H_4O_2 pour l'eau, moins de 10% des élèves et étudiants interrogés fournissent une réponse correcte pour les deux équations.

Conclusion

Les résultats obtenus montrent que l'interprétation des noms chimiques et des formules brutes sur des critères macroscopiques et microscopique, l'utilisation des formules brutes dans le cadre des équations ne sont pas maîtrisées par les élèves de lycée et collège tous niveaux confondus et confirment les recherches antérieures (Dehon et Snauwaert, 2015 ; Mzoughi-Khadhraoui et Dumon, 2012). Quand nous analysons les programmes du collège au lycée et les exercices proposés dans les ouvrages scolaires, l'enseignement de la formule brute ne semble aborder que l'aspect technique de comptage des atomes, ce qui correspond au niveau le plus bas de compréhension des symboles chimiques par les élèves (Laugier et Dumon, 2004). Ce comptage semble permettre l'utilisation des formules mais pas la compréhension de celles-ci en lien avec le concept d'atome et de molécule, ce qui confirme alors l'hypothèse de Talanquer (2011). Proposer des alternatives aux enseignants pour travailler autour du langage du chimiste en développant de nouveaux outils semble alors nécessaire. Notre étude autour des difficultés des élèves doit donc se prolonger par l'élaboration d'une séquence d'enseignement sur la formule brute en ayant notamment recours à l'histoire des sciences comme outil didactique au sens développé par de Hosson (2011).

Références bibliographiques

- 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, ED 376020).
- 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.
- de Hosson, C. (2011) *L'histoire des sciences, un laboratoire pour la recherche en didactique et l'enseignement de la physique*. Note de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches. Université Paris-Diderot - Paris VII.
- Johnstone, A.H. (1993) The Development of Chemistry Teaching. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-705.
- 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*, 30(8), 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*, 10(1), 24-34.
- Laugier, A., Dumon, A. (2004) L'Equation de Réaction : Un Nœud d'Obstacles Difficilement Franchissable. *Chemistry Education Research and Practice*, 5(1), 51–68.
- Marty, C., Marty, R. (1992) *99 réponses sur la sémiotique*. Montpellier, France: Centre régional de documentation pédagogique.
- 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
- Sanger, M. J. (2005) Evaluating students' conceptual understanding of balanced equations and stoichiometric ratios using a particulate drawing. *Journal of Chemical Education*, 82(1), 131-134.
- 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.
- Taskin, V., Bernholt, S. (2014) Students' Understanding of Chemical Formulae: A review of empirical research. *International Journal of Science Education*, 36(1), 157–185.