

L'évolution de l'enseignement du concept de quantité de matière au lycée

Suite à la nouvelle définition des unités fondamentales et de la mole en particulier, une évolution de l'enseignement du concept de quantité de matière a été introduite lors de la réforme du lycée dans les nouveaux programmes de seconde entrés en vigueur en septembre 2019.

Au collège, les programmes du cycle 4 introduisent, au niveau macroscopique, le concept d'espèce chimique et les grandeurs physiques comme la masse, le volume et la masse volumique d'un échantillon et, au niveau microscopique, les notions d'atomes, de molécules, d'ions et de constituants subatomiques (protons, neutrons, électrons) et d'ordre de grandeur (taille et masse) de ces entités chimiques et particules élémentaires ; pour autant, aucun lien n'est établi entre ces deux niveaux de description.

C'est habituellement en classe de seconde que le concept de quantité de matière est abordé en France pour compléter la gamme des outils de description d'un échantillon de matière et établir le lien entre espèces et entités chimiques, entre niveau macroscopique et niveau microscopique.

La nouvelle définition de la mole : plus simple à comprendre

La définition de la mole de 1971 faisait référence au kilogramme et à l'atome de carbone : « La (UNE) mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 12 g de carbone 12. Les entités élémentaires peuvent être des atomes, des molécules, des ions ou toute autre particule ou groupement spécifié de particules. » Souvent énoncée en introduction du cours sur la quantité de matière, sa compréhension n'était pas aisée pour les élèves et induisait souvent des confusions entre les deux grandeurs, masse et quantité de matière. Cette confusion était renforcée par le fait que la masse était parfois aussi définie au collège, de manière inappropriée, comme la quantité de matière de l'échantillon.

La nouvelle définition de la mole⁽¹⁾ s'appuie sur la valeur numérique d'une constante universelle, la constante d'Avogadro, dont la valeur est désormais fixée et correspond au nombre d'entités élémentaires par mole. Elle répond en

cela aux objectifs de simplification et de distinction entre les grandeurs visées par le Bureau international des poids et mesures (BIPM) car la mole n'est plus définie en relation avec le kilogramme, même si pour déterminer une quantité de matière il est nécessaire de connaître, entre autres, la masse d'un échantillon.

Les choix effectués dans les nouveaux programmes : un enseignement plus progressif du concept de quantité de matière, de la seconde à la terminale

Traditionnellement, la quantité de matière et les grandeurs molaires comme la masse molaire et le volume molaire étaient introduites dès la classe de seconde afin d'effectuer les premiers bilans de matière lors de transformations chimiques pour lesquels il est nécessaire de se référer à la composition du système. Les difficultés rencontrées par les élèves pour manipuler les grandeurs intensives et les relations entre ces grandeurs et la quantité de matière ($n = m/M$ ou $n = V/V_M$) conduisaient à un apprentissage par cœur de « formules » qui faisait parfois perdre le sens physique de ces grandeurs.

Les concepteurs des nouveaux programmes ont souhaité limiter en seconde l'utilisation de relations et privilégier les raisonnements pour accéder d'une part au nombre d'entités chimiques dans un échantillon, puis pour exprimer ce nombre d'entités en moles. L'utilisation de la langue française pour expliciter la démarche mise en œuvre, avant la mise en place de calculs, a par ailleurs été recommandée et considérée comme plus utile pour des élèves ne se destinant pas tous à des poursuites d'études scientifiques.

Ce n'est qu'en première, pour les élèves ayant choisi l'enseignement de spécialité physique-chimie, que les grandeurs molaires sont introduites.

Ainsi, la notion de quantité de matière est abordée progressivement sur deux années :

- En classe de seconde, le travail relatif à la composition d'un atome, à la constitution d'une entité (atome, molécule ou ion) est l'occasion :
 - de sensibiliser les élèves aux ordres de grandeur de masse à l'échelle atomique : proton, neutron, électron, voire atomes ;

Définition de la mole à partir du 20 mai 2019



La quantité de matière, symbole n , d'un système représente un nombre d'entités élémentaires spécifiées. Une entité élémentaire peut être un atome, une molécule, un ion, un électron, ou toute autre particule ou groupement spécifié de particules;

Sa valeur est définie en fixant la valeur numérique du nombre d'Avogadro à exactement $6,022\ 14076 \times 10^{23}$ quand elle est exprimée en mol^{-1} .

- d'estimer la masse d'un atome à partir de sa composition et d'une molécule à partir de sa formule chimique ;
- d'évaluer le nombre d'entités dans un échantillon de matière, pur ou non, à partir de sa masse, de sa composition et de la masse des différentes entités qui le constituent ;
- d'exprimer ce nombre d'entités en moles grâce à la nouvelle définition de l'unité de quantité de matière : 1 mole d'entités élémentaires est égale à $6,02214076 \times 10^{23}$ entités ;
- de sensibiliser les élèves au grand nombre d'entités présentes dans un échantillon macroscopique et au caractère plus adapté de son expression en moles, en quantité de matière exprimée en mol ;
- d'effectuer les premiers bilans de matière lors des transformations chimiques, à partir de la composition (en moles) des réactifs et de l'équation de la réaction modélisant la transformation, pour déterminer le réactif limitant et les quantités de matière de produits formés en utilisant un raisonnement proportionnel.

• En classe de première, est introduite la constante d'Avogadro, ainsi que la masse molaire atomique et le volume molaire d'un gaz, afin de déterminer plus rapidement une quantité de matière, sans passer par la succession de calculs intermédiaires réalisés en classe de seconde ; calculs qui ont néanmoins permis de donner du sens à la quantité de matière (collection donnée d'entités chimiques) et au changement d'échelle de description entre le niveau macroscopique et le niveau microscopique.

Une acquisition toute aussi progressive : la notion de concentration en quantité de matière

Les élèves rencontraient aussi des difficultés récurrentes avec la concentration en quantité de matière⁽²⁾ en classe de seconde, pour plusieurs raisons : la nature des solutions aqueuses d'une part, nécessitant de bien identifier solvant, solutés apportés et espèces dissoutes, et le concept de quantité de matière d'autre part, la réalisation d'une solution procédant généralement par pesée, puis ajout de solvant, les données d'entrée étant donc par conséquent le plus souvent une masse de soluté et un volume de solution.

Au collège, les élèves ont commencé à aborder la notion de mélanges et notamment les solutions aqueuses et, de manière très qualitative, la notion de concentration et de concentration maximale (solubilité) d'une espèce en solution.

Les nouveaux programmes de lycée proposent l'acquisition de la concentration en quantité de matière sur deux années :

- En classe de seconde, l'introduction et l'exploitation de la concentration en masse⁽³⁾ apportée d'un soluté, exprimée en g.L^{-1} , est privilégiée et les exemples retenus sont systématiquement contextualisés pour en favoriser le sens. Un des enjeux de cette classe est aussi de disposer de temps pour développer la capacité à distinguer concentration en masse d'un soluté dans une solution et masse volumique d'une solution, grandeurs caractérisant une solution et ayant la même unité.

- En classe de première, l'introduction de la masse molaire est l'occasion d'introduire et exploiter la notion de concentration en quantité de matière apportée d'un soluté, puis ultérieurement, en écrivant des équations des réactions modélisant la dissolution, d'une espèce chimique dissoute en solution.

Les techniques d'analyse quantitative (physiques uniquement en seconde, puis physiques et chimiques à partir de la première) permettent d'accéder aux quantités de matière ou concentrations en quantité de matière par comparaison (dosage par étalonnage), puis en mettant en œuvre une transformation chimique spécifique de l'espèce à analyser (titrage). Accordant davantage de temps à l'acquisition de ces concepts abstraits pour les élèves et en recherchant à privilégier le sens physique, les auteurs des nouveaux programmes visent une meilleure sensibilisation au lycée à la nécessité d'utiliser cette grandeur quantité de matière pour dénombrer les entités élémentaires à l'échelle macroscopique, et une meilleure maîtrise de cette notion essentielle pour poursuivre des études supérieures scientifiques.

⁽¹⁾ La mole, LNE, Laboratoire national de métrologie et d'essais, www.lne.fr/fr/comprendre/systeme-international-unites/mole

⁽²⁾ L'expression « concentration en quantité de matière » a été privilégiée dans l'écriture du programme par rapport à « concentration molaire », car l'adjectif « molaire » désigne généralement des grandeurs divisées par une quantité de matière en moles, et exprimées en mol^{-1} ; comme les capacités thermiques molaires, les enthalpies molaires de changement d'état.

⁽³⁾ De même, « concentration en masse » est privilégiée à « concentration massique », car l'adjectif « massique » désigne généralement des grandeurs divisées par une masse et exprimées notamment en g^{-1} ou kg^{-1} , comme les capacités thermiques massiques, les enthalpies massiques de changement d'état, les teneurs massiques.

Sources

- Programmes et ressources pour les nouveaux programmes de physique-chimie au lycée : Programmes et ressources en physique-chimie - voie GT, Éduscol, Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports - Direction générale de l'Enseignement scolaire, <https://eduscol.education.fr/1648/programmes-et-ressources-en-physique-chimie-voie-gt>

- Programmes de physique-chimie de seconde et de l'enseignement de spécialité de première : http://cache.media.education.gouv.fr/file/SP1-MEN-22-1-2019/98/9/spe634_annexe_1062989.pdf ; https://cache.media.education.gouv.fr/file/SP1-MEN-22-1-2019/43/2/spe635_annexe_1063432.pdf

- Document d'accompagnement : Dénombrer les entités d'un échantillon de matière, Éduscol, https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Physique-chimie/31/8/RA19_Lycees_GT_2-1_PHYCHI_Denombrer-entites-echantillon-matiere_1161318.pdf

Marie-Blanche MAUHOURAT*,

Inspectrice générale honoraire de l'Éducation, du Sport et de la Recherche (IGESR).

Jean LAMERENX,

professeur en Classe préparatoire aux grandes écoles (CPGE).

* marie-blanche.mauhourat@orange.fr