

Conducteur vidéo de la capsule 1 sur la transformation chimique

Capsules didactiques en physique-chimie

La transformation chimique - Épisode 1

Évolution de la modélisation des transformations chimiques

Bonjour à toutes et tous.

Cette capsule a pour objectif d'identifier des difficultés didactiques autour de la notion de transformation chimique, concept difficile à cerner de manière rigoureuse pour un élève. Nous évoquerons l'introduction de cette notion en collège, puis nous parlerons de la nature de la transformation chimique, de l'évolution de ce concept et de sa modélisation jusqu'au début du lycée.

Cette capsule est le résultat d'un travail collaboratif de groupes de travail de physique-chimie des académies de Créteil et Versailles. Elle s'inscrit dans une série de trois épisodes sur l'évolution d'un système chimique du cycle 4 à la terminale.

Nous allons mettre en avant et illustrer les difficultés de compréhension que peuvent rencontrer les élèves sur cette notion.

En effet, il est important qu'un enseignant ait conscience de ces difficultés, et nous vous proposons des outils qui vous permettront de les contourner en étant le plus explicite possible. Par exemple, lorsque que l'on parle de la transformation chimique, on navigue souvent entre échelle microscopique et échelle macroscopique. Il convient dès lors d'être vigilant, et de signaler aux élèves à quelle échelle on se situe, sans considérer que c'est une évidence pour eux.

Évolution de la modélisation des transformations chimiques

1- Mélanges & transformations

2- Difficultés sémantiques

3- Approche de la modélisation par une équation

4- Passage à la modélisation microscopique

5- Retour à la modélisation macroscopique

Conclusion

Mélanges & transformations

Cycle 3

Cycle 4

Mélanges

- Mettre en œuvre une technique de séparation de liquides non miscibles.
- Observer le phénomène de saturation lors du mélange d'un solide dans l'eau et en rendre compte quantitativement.
- Rechercher et exploiter des informations relatives à la composition de l'air et citer des gaz qui contribuent à l'effet de serre.
- Réaliser un mélange pour lequel les changements observés peuvent être interprétés par une transformation chimique (changement de couleur, production d'un gaz, etc.).
- Réaliser un mélange où se produit une transformation chimique.
- Mettre en évidence la consommation des réactifs ou la formation des produits lors d'une transformation chimique (changement de couleur, production d'un gaz, etc.).
- Rechercher et exploiter des informations sur les contraintes de sécurité relatives à la manipulation des produits ménagers et sur les conséquences de ces produits sur l'environnement.
- Associer les pictogrammes de sécurité visibles dans le laboratoire de chimie aux dangers et aux risques qui leur correspondent.

Mettre en œuvre des tests caractéristiques d'espèces chimiques à partir d'une banque fournie.
Identifier expérimentalement une transformation chimique.
Distinguer transformation chimique et mélange, transformation chimique et transformation physique.
Interpréter une transformation chimique comme une redistribution des atomes.
Utiliser une équation de réaction chimique fournie pour décrire une transformation chimique observée.

- Notions de molécules, atomes, ions.
- Conservation de la masse lors d'une transformation chimique.
Associer leurs symboles aux éléments à l'aide de la classification périodique.
Interpréter une formule chimique en termes atomiques.
- Dioxygène, dihydrogène, diazote, eau, dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote.

Tout d'abord, commençons par revenir sur ce que disent les programmes.

On remarque ainsi une évolution dans les définitions entre le cycle 3 et le cycle 4.

- Au cycle 3, le mélange est défini comme l'action de mettre ensemble, certains mélanges pouvant conduire à des transformations chimiques, d'autres non.

- Au cycle 4, il est mentionné d'identifier expérimentalement une transformation chimique, et de la distinguer d'un mélange.

Cela indique implicitement qu'un mélange n'est plus le siège d'une transformation chimique : il conviendra alors de bien expliciter ce changement aux élèves.

Très souvent, cette distinction est approchée de la manière suivante : si on n'observe aucun changement à l'échelle macroscopique (changement de couleur, apparition de bulles), on a un mélange et, si on voit des modifications, on a une transformation chimique.

Ces conclusions sont peut-être parfois trop hâtives.

Mélanges & transformations



Lors d'un mélange

s'il y a formation de nouvelles espèces chimiques

Il y a une transformation chimique

s'il n'y a pas formation de nouvelles espèces chimiques

Il n'y a pas de transformation chimique



En effet, dans certaines situations, des transformations chimiques peuvent avoir lieu, sans pour autant conduire à des changements macroscopiques visibles (pas de modification de couleur, d'apparition ou de disparition de phases), certaines ayant, par ailleurs, une cinétique faible. A l'inverse, ce n'est pas parce que l'on observe des bulles qu'il y a une transformation chimique. Par exemple, les bulles qui s'échappent d'une bouteille d'eau gazeuse que l'on ouvre ne sont pas le résultat d'une transformation chimique, mais plutôt d'une modification d'un équilibre physique. L'idée est d'éviter d'être dogmatique, binaire sur cette distinction entre mélange et transformation.

Le seul moyen pour un élève de conclure sur le fait qu'il y ait eu transformation chimique, c'est la mise en évidence d'une nouvelle espèce, et pas juste une modification de propriété.

=En début de cycle 4, le bagage scientifique nécessaire aux élèves est peu développé, et sera étoffé tout au long du cycle, notamment par l'apprentissage des tests de mise en évidence. C'est donc souvent l'enseignant qui statue sur la distinction entre mélange et transformation chimique en début d'apprentissage.

L'introduction de l'échelle microscopique devient alors indispensable pour interpréter la notion de transformation chimique.

Du point de vue sémantique nous prendrons, dans cette capsule, le même parti que celui du BO et nous parlerons de l'échelle « microscopique ».

Il peut être intéressant d'évoquer avec les élèves que celle-ci n'est pas à prendre au sens « échelle du micron ». Elle est quelque fois appelée échelle submicroscopique ou nanoscopique.

Évolution de la modélisation des transformations chimiques

1- Mélanges & transformations

→ 2- Difficultés sémantiques

3- Approche de la modélisation par une équation

4- Passage à la modélisation microscopique

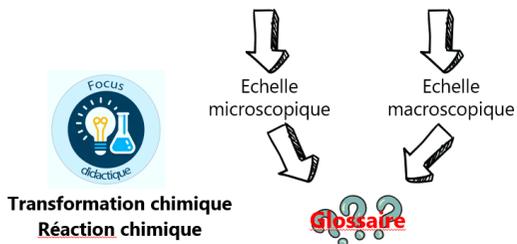
5- Retour à la modélisation macroscopique

Conclusion

Difficultés sémantiques



Un **vocabulaire** riche : espèces chimiques, éléments, atomes, transformation, etc.



En classe, le vocabulaire associé à l'étude de la matière est riche.

Nous utilisons plusieurs termes qui peuvent sembler proches pour les élèves : espèces chimiques, éléments, atomes, transformation, réaction, équation de réaction, bilan.

Or, ceux-ci font référence à différentes échelles et différents modèles. En effet, le macroscopique est le domaine de l'observable et du tangible. Il est lié à une réalité perçue, que l'on peut modéliser.

Il résulte de ce qui se passe au niveau microscopique. Celui-ci, au contraire est inaccessible, mais tout autant modélisable.

Pour décrire une transformation chimique, les élèves sont confrontés à l'utilisation de ces termes, ce qui est une difficulté en soi.

On rappelle que la description d'une transformation chimique se fait en utilisant le modèle de la réaction chimique : plusieurs transformations, dans des conditions différentes, sont décrites par une même réaction, à condition qu'elles partagent les mêmes réactifs, produits et proportions stœchiométriques.

La réaction sert à rendre compte des proportions relatives avec lesquelles les différents réactifs sont consommés.

Avec les élèves, il conviendrait donc de définir les termes et d'utiliser un glossaire leur permettant d'employer le vocabulaire avec rigueur.

Évolution de la modélisation des transformations chimiques

1- Mélanges & transformations

→ 2- Difficultés sémantiques

3- Approche de la modélisation par une équation

4- Passage à la modélisation microscopique

5- Retour à la modélisation macroscopique

Conclusion

Difficultés sémantiques



Echelle microscopique



✓ **Entités** : Atomes, molécules

ions, solides ioniques

Ex : molécule d'eau



✓ **Éléments chimiques** :

Atomes ou ions monoatomiques
de même numéro atomique



Particules
(collège)



Entités
(Fin de collège, lycée)

Echelle macroscopique



✓ **Substances chimiques** :

Une ou plusieurs espèces chimiques.

Ex : eau



✓ **Espèces chimiques** :

Ensemble d'entités
chimiques toutes identiques.

Revenons sur d'autres exemples de difficultés sémantiques, dont il convient d'explicitier les termes et leurs usages.

Nous rappelons dans cette diapositive quelques distinctions entre échelle microscopique et macroscopique.

Prenons un mot simple, que les élèves connaissent : le terme « eau », qui est polysémique. Quand un enseignant utilise ce mot, il alterne intuitivement entre l'échelle microscopique et l'échelle macroscopique selon la situation étudiée, contrairement aux élèves. Il faudrait systématiquement signifier si l'on parle de l'eau en tant qu'entité chimique (molécule d'eau) ou d'espèce chimique (collection d'entités, niveau macroscopique). Il joue également parfois le rôle de solvant, de produit de réaction, ou encore de réactif.

Un autre exemple au collège est celui du terme de « particule ». Il est régulièrement employé pour évoquer les entités chimiques, en particulier en classe de cinquième, avant l'introduction des concepts d'atomes, de molécules, ou d'ions.

Naturellement, ce terme de particule ne sera plus utilisé en troisième et reviendra au lycée pour désigner autre chose (notamment les particules élémentaires).

Évolution de la modélisation des transformations chimiques

1- Mélanges & transformations

2- Difficultés sémantiques

→ 3- Approche de la modélisation par une équation

4- Passage à la modélisation microscopique

5- Retour à la modélisation macroscopique

Conclusion

Approche de la modélisation par une équation

Place de l'enseignant

Exemple : La combustion du méthane

1^{re} modélisation

le méthane brûle avec l'air en présence d'une allumette pour former du dioxyde de carbone et de l'eau

2^e modélisation :

Allumette enflammée

méthane + air → dioxyde de carbone + eau

3^e modélisation :

Chaleur

méthane + air → dioxyde de carbone + eau

4^e modélisation :

méthane + dioxygène → dioxyde de carbone + eau

Maintenant, intéressons-nous à une manière de passer des observations expérimentales à la modélisation, jusqu'à l'écriture d'une équation de réaction.

Plaçons-nous dans le cas où un enseignant a réalisé la combustion du méthane, et où les élèves ont mis en évidence le dégagement de dioxyde de carbone. Ils ont donc conscience qu'une transformation chimique a eu lieu.

Pour amener progressivement l'écriture d'une équation de réaction, il est possible de commencer à décrire les transformations, au niveau macroscopique, en utilisant le langage naturel, descriptif.

Le méthane brûle avec l'air en présence d'une allumette pour former du dioxyde de carbone et de l'eau.

Gardons à l'esprit que la suite est déjà une affaire de tris, d'implicites, et d'une modélisation forte : en effet, il sera nécessaire d'indiquer aux élèves que l'allumette enflammée n'aura pas le même statut que le CO₂ et l'air !

C'est seulement dans un deuxième temps que l'on commence à "formaliser" ce langage. On utilisera une représentation utilisant une flèche de réaction et un signe "+".

On fait le choix ici de distinguer le rôle de l'allumette par rapport aux autres espèces en la positionnant sur la flèche, puis en la remplaçant dans un troisième temps par "le mot "chaleur". Enfin, il est possible d'approfondir la modélisation, en indiquant que seul le dioxygène de l'air participe à la transformation ; le diazote n'intervenant pas. On modifie alors le "bilan".

On voit bien que ce processus mélange plusieurs niveaux de compréhension et de modélisation, et que cela constitue une réelle difficulté pour l'élève si rien n'est explicité.

On ne peut que préconiser de prendre le temps dans la construction de ce processus. On terminera par identifier ce qu'on appelle les "réactifs" et les "produits".

Les proportions ne sont pas abordées à ce niveau-là, l'objectif est d'introduire une notation avec les symboles « + » et la flèche.

Évolution de la modélisation des transformations chimiques

1- Mélanges & transformations

2- Difficultés sémantiques

→ 3- Approche de la modélisation par une équation

4- Passage à la modélisation microscopique

5- Retour à la modélisation macroscopique

Conclusion

Approche de la modélisation par une équation



Modélisation construite précédemment :

méthane + dioxygène \longrightarrow dioxyde de carbone + eau

Une symbolique plus générale

A + B \longrightarrow C + D

Lorsque l'on mélange les réactifs « A » et « B », ils réagissent entre eux pour former les produits « C » et « D »



L'étape suivante consiste ensuite à généraliser cette modélisation, cette formalisation de l'observation macroscopique et à l'explicitier aux élèves

Le "+" indique la présence simultanée des espèces (qu'elles soient des réactifs ou des produits)
La flèche symbolise l'action et se lit "réagissent entre eux pour former"

On lira donc, ici : lorsque l'on mélange les réactifs A et B, ils réagissent entre eux pour former les produits "C" et "D"

Cela permet d'être cohérent avec l'écriture et la signification de l'équation ajustée d'une transformation comme pour l'équilibre chimique dynamique en 1^{ère} et en terminale.

Un point d'attention est à relever : le terme "équation" est polysémique. Les élèves le rencontrent très fréquemment en mathématiques mais il ne signifie pas tout à fait la même chose : ce qui peut être une source de difficulté et il conviendra de le préciser aux élèves.

Enfin, la symbolique présentée ici ne traduit que ce qui se passe lors de la transformation chimique mais n'a pas pour objet de décrire la composition finale du système.

Évolution de la modélisation des transformations chimiques

1- Mélanges & transformations

2- Difficultés sémantiques

3- Approche de la modélisation par une équation

→ 4- Passage à la modélisation microscopique

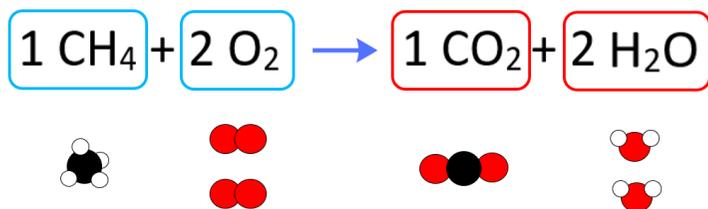
5- Retour à la modélisation macroscopique

Conclusion

Passage à la modélisation microscopique



Modélisation :



L'apprentissage de la notion de transformation se poursuit ensuite par une approche microscopique : l'objectif est d'introduire la notion de réarrangement d'atomes, et d'utiliser le formalisme de l'équation de réaction pour traduire ou modéliser ce qui se passe au niveau microscopique.

On considérera comme acquis les notions de formules chimiques atomique et moléculaire. L'équation de réaction s'appuie maintenant sur ces représentations et traduit une réalité microscopique : on y fait alors apparaître les formules brutes.

Elle peut maintenant se lire : une molécule de méthane réagit avec deux molécules de dioxygène pour former une molécule de dioxyde de carbone et deux molécules d'eau. On prendra soin dans un premier temps d'indiquer tous les nombres stœchiométriques, même lorsqu'ils sont égaux à 1.

Il est alors conseillé de s'appuyer sur la manipulation de modèles moléculaires pour permettre de faciliter la représentation des entités chimiques à notre échelle et d'aider le passage du langage naturel au langage symbolique à l'échelle microscopique.

Pour comprendre les proportions qui apparaissent dans l'équation, voici une approche pédagogique possible, basée sur l'utilisation de modèles moléculaires.

Nous proposons de fournir aux élèves des molécules de réactifs et de les faire réfléchir à différentes situations, illustrées dans les vidéos suivantes. Nous rappelons que la nature des réactifs et des produits mis en jeu est connue des élèves.

Évolution de la modélisation des transformations chimiques

1- Mélanges & transformations

2- Difficultés sémantiques

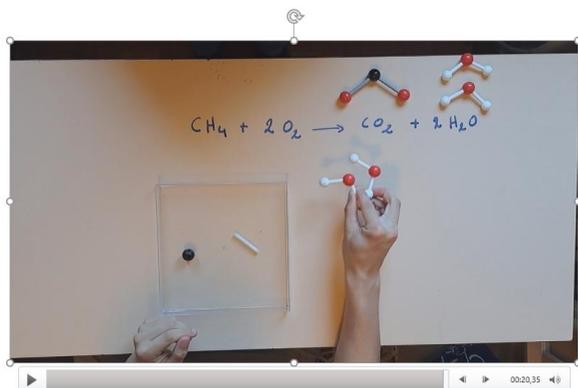
3- Approche de la modélisation par une équation

→ 4- Passage à la modélisation microscopique

5- Retour à la modélisation macroscopique

Conclusion

Passage à la modélisation microscopique



Vidéo 1

Dans cette première vidéo, les objectifs sont d'amener les élèves à casser les liaisons des réactifs et de faire constater qu'il n'est pas possible de construire les produits attendus.

En effet, le nombre d'atomes apportés par les réactifs disponibles est inférieur à ceux nécessaires pour former les produits :

Remarque : la vidéo présente une molécule de CO_2 « coudée », ce qui ne traduit pas la géométrie réelle de la molécule. Ici, l'enjeu porte sur les proportions et non sur la géométrie. Si l'établissement possède des modèles permettant de modéliser la molécule par un modèle linéaire, cela reste préférable pour éviter de mettre en place des préconceptions fausses.

Évolution de la modélisation des transformations chimiques

1- Mélanges & transformations

2- Difficultés sémantiques

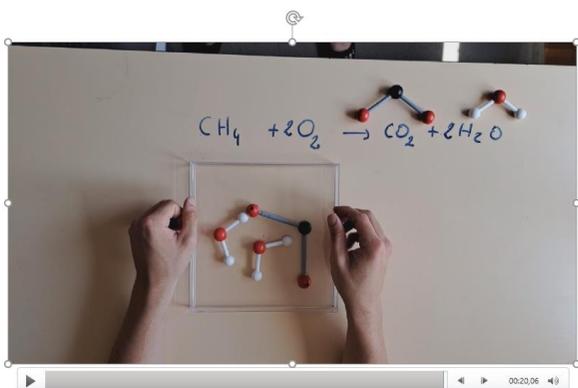
3- Approche de la modélisation par une équation

→ 4- Passage à la modélisation microscopique

5- Retour à la modélisation macroscopique

Conclusion

Passage à la modélisation microscopique



Vidéo 2

Dans cette seconde situation, on fournit aux élèves 1 molécule de méthane et 2 molécules de dioxygène.

De la même manière, l'élève peut casser les liaisons et essayer de former les produits qui apparaissent dans l'équation.

On peut ainsi faire remarquer que, lorsque les réactifs sont mis dans les mêmes proportions que celles indiquées par l'équation, l'intégralité des atomes présents dans les réactifs se retrouve réorganisée au sein des produits.

Évolution de la modélisation des transformations chimiques

1- Mélanges & transformations

2- Difficultés sémantiques

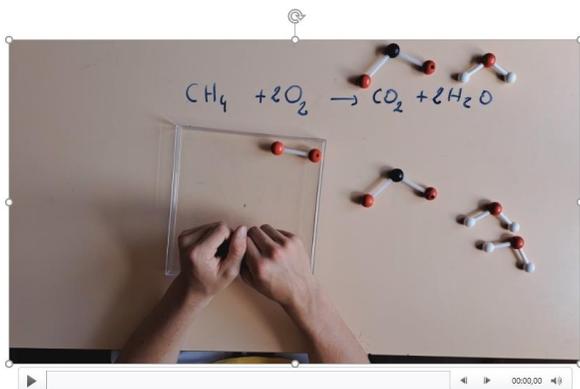
3- Approche de la modélisation par une équation

➔ 4- Passage à la modélisation microscopique

5- Retour à la modélisation macroscopique

Conclusion

Passage à la modélisation microscopique



Évolution de la modélisation des transformations chimiques

1- Mélanges & transformations

2- Difficultés sémantiques

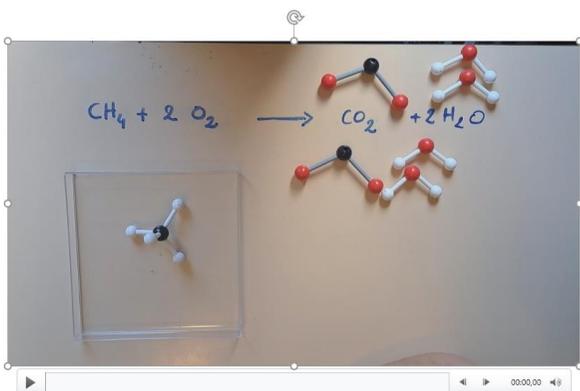
3- Approche de la modélisation par une équation

➔ 4- Passage à la modélisation microscopique

5- Retour à la modélisation macroscopique

Conclusion

Passage à la modélisation microscopique



Vidéo 3

La troisième situation met en jeu 1 molécule de méthane et 3 molécules de dioxygène.

On peut ainsi former une molécule de dioxyde de carbone et deux molécules d'eau.

On constate que certains réactifs ne sont alors pas consommés : ici 1 molécule de dioxygène.

En revanche, les espèces qui ont été transformées l'ont été en respectant la proportion 1 pour 2.

Vidéo 4

Enfin, la dernière situation présentée a pour objectif de montrer que, là encore, il est possible de former les produits attendus, mais que cette fois, c'est le méthane qui n'est pas entièrement consommé.

On montre ainsi aux élèves que les réactifs qui sont transformés le sont toujours en respectant les proportions indiquées dans l'équation, de même que les produits formés, et que, selon les quantités initiales mises en jeu, il peut rester de l'un ou l'autre des réactifs.

Évolution de la modélisation des transformations chimiques

1- Mélanges & transformations

2- Difficultés sémantiques

3- Approche de la modélisation par une équation

→ 4- Passage à la modélisation microscopique

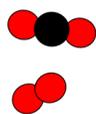
5- Retour à la modélisation macroscopique

Conclusion

Passage à la modélisation microscopique



Points de vigilance



Réactif

Solution contenant des ions que l'on cherche à identifier



Nous attirons votre attention sur quelques points de vigilance didactiques, liés à l'utilisation des différents niveaux de modélisation.

Tout d'abord, l'usage des formules chimiques peut induire des représentations erronées. Par exemple, le dioxyde de carbone, noté CO_2 , peut être interprété comme étant du carbone contenant du dioxygène, et non pas comme une nouvelle molécule.

L'utilisation des modèles moléculaires en plastique est un outil qui permet de dépasser cette représentation erronée.

Ensuite, comme nous l'avons vu précédemment, le symbole "+" signifie "en présence" et non "attaque". Un élève pourrait penser que le réactif écrit en premier aurait plus de « force » que l'autre, qui « subirait » la transformation.

La position des réactifs est donc interchangeable dans l'équation et peut s'accompagner d'un discours expliquant que les deux réactifs sont consommés.

D'autres confusions peuvent également venir de la couleur même des modèles moléculaires utilisés. La couleur d'une solution bleue pourrait être reliée par certains élèves à la couleur du modèle moléculaire et donc à l'espèce chimique tel que le diazote.

Il conviendra d'être attentif sur ce point.

Nous rappelons également que l'objectif du programme de cycle 4 n'est pas de donner une méthodologie permettant d'ajuster une équation de réaction, mais d'être capable de trouver l'équation ajustée parmi plusieurs proposées ou d'utiliser une équation de réaction chimique fournie pour décrire une transformation chimique.

Par ailleurs, l'utilisation des tests de reconnaissances d'ions n'est pas toujours aisée pour les élèves et doit être construite progressivement, en s'appuyant sur le langage naturel.

Par exemple, il peut être difficile pour les élèves de distinguer la nature des ions présents dans le test, de la nature des ions mis en évidence dans le milieu.

Enfin, la présence d'une espèce en début et en fin de transformation ne permet pas de distinguer une espèce spectatrice d'une espèce partiellement consommée : seule une approche quantitative permet de conclure, ce qui pourra être fait au lycée.

Retour à la modélisation macroscopique



$1 + 1 + 1 + \dots$ 1 CH₄ **Proportionnalité**
1 mole 1 CH₄ (g) **conservée**



Une fois la notion de transformation introduite, ainsi que le formalisme de l'équation au niveau microscopique, il reste à utiliser ce même formalisme, mais pour le niveau macroscopique, ce qui participe à la difficulté de compréhension des élèves.

Il est possible d'imaginer, dans la continuité de ce qui a été vu précédemment, de faire réagir de grandes quantités de molécules, jusqu'à atteindre des moles d'entités. Les proportions seront donc les mêmes qu'au niveau microscopique – mais la signification du coefficient sera différente.

Le « 1 », qui représentait une molécule, symbolise maintenant une mole, soit un "paquet" d'entités.

Lors de ce passage, il y a un changement remarquable au niveau de l'équation. L'état physique de chaque espèce est alors indiqué. Ceci doit être un signe, pour les élèves, que l'on se situe à l'échelle macroscopique.

On reviendra, à cette occasion, avec le langage naturel qui avait été utilisé en introduction de ce modèle.

Au collège, on se contentera d'indiquer que ce qui est vrai pour une molécule est vrai pour beaucoup. Mais tout ce qui concerne la mole et l'aspect macroscopique de la réaction est à traiter en classe de seconde.

Une réaction chimique est donc un modèle cherchant à traduire ce qui se passe lors d'une transformation chimique, en s'appuyant sur le principe de conservation des éléments. Les nombres stœchiométriques permettent d'explicitier les relations de proportions entre les quantités des différentes espèces en jeu : en effet, la stœchiométrie signifie « mesure des éléments » et fait bien référence à la notion de proportions.

Conclusion



En conclusion, nous avons abordé ce qui se passe durant une transformation chimique et nous avons discuté de la manière de construire le modèle de la réaction chimique, d'un point de vue d'abord qualitatif, avec le langage naturel, puis quantitatif, avec l'équation de réaction, au niveau microscopique, puis macroscopique.

Nous avons également relevé quelques difficultés liées au vocabulaire associé.

Nous vous remercions d'avoir suivi cette capsule et nous vous invitons à regarder l'épisode suivant, qui traitera de l'évolution de la composition d'un système, siège d'une transformation chimique.

Scénarisation, conception :

Myriam Bergon, enseignante de Physique-Chimie
Matthieu Havart, enseignant de Physique-Chimie
Timothée Lerychard, enseignant de Physique-Chimie

Montage :

Julien Lefebvre, IAN

Pilotage de la production :

Inspection de physique-chimie des académies de Créteil et Versailles

Remerciements

DANE des académies de Créteil et Versailles

