

VOIE GÉNÉRALE ET TECHNOLOGIQUE		
2^{DE}	1^{RE}	T^{LE}
Physique-chimie		ENSEIGNEMENT <i>Seconde générale et technologique</i> COMMUN <i>Première générale</i> SPÉCIALITÉ

MODÉLISER, AU NIVEAU MACROSCOPIQUE, UNE TRANSFORMATION CHIMIQUE PAR UNE RÉACTION CHIMIQUE

Les programmes de physique-chimie des classes de seconde et de l'enseignement de spécialité de première générale font de la démarche de modélisation un des piliers de la formation. En ne se limitant pas à l'enseignement de modèles, les programmes portent l'ambition de permettre aux élèves de pratiquer cette démarche et de s'en approprier les différents aspects pour se familiariser avec la démarche scientifique et mieux appréhender la nature même de la physique et de la chimie.

Ce document vise à illustrer, pour le professeur, la mise en œuvre de la démarche de modélisation d'une transformation chimique, en partant d'observations pour parvenir à l'écriture d'une réaction chimique¹. Dans le cadre des programmes de la classe de seconde générale et technologique et de la spécialité de première générale, cette modélisation se limite à des aspects macroscopiques :

Extrait du programme de physique-chimie de la classe de seconde générale et technologique

« L'étude des transformations chimiques, entamée au collège, est complétée par les notions de stœchiométrie, d'espèce spectatrice et de réactif limitant. L'analyse de l'évolution d'un système pour modéliser sa transformation chimique par une réaction illustre une démarche de modélisation au niveau macroscopique. Elle nécessite de mettre en place une démarche expérimentale rigoureuse pour passer :

- d'une description des modifications visibles ;
- aux espèces chimiques, présentes dans l'état initial et qui ont réagi ;
- à celles, présentes dans l'état final et qui ont été formées ;
- et enfin, à l'écriture d'une réaction rendant compte au mieux des changements observés au niveau macroscopique »

Enseigner la modélisation d'une transformation chimique nécessite de choisir des exemples de transformations aux manifestations visibles (changement de couleur, disparition ou apparition d'une phase, etc.) de manière à faciliter l'appropriation du raisonnement par les élèves.

1. La fiche « Bilan de matière d'une transformation chimique » aborde l'avancement de réaction, introduit en classe de première, pour permettre de réaliser un bilan de matière quantitatif de la transformation chimique.

Modélisation d'une transformation mettant en jeu du cuivre solide et une solution aqueuse de nitrate d'argent

La démarche proposée ici s'appuie sur une situation développée dans le cadre de travaux didactiques par Isabelle Kermen². Trois transformations servent de support à cette partie. Dans tous les cas, un morceau de cuivre de masse donnée est plongé dans un volume connu de solution aqueuse de nitrate d'argent. En fonction de la masse de cuivre introduite, l'état final n'a pas la même apparence.

Première étape : décrire la réalité perçue

La première étape mise en œuvre dans une modélisation de la transformation chimique relève du registre sensible et consiste à dresser un inventaire des changements perçus par les sens (vue, ouïe, odorat, etc.). Ce niveau de description est l'occasion de faire utiliser la langue française aux élèves. Dans cette étape, on s'attache à décrire la « réalité perçue ».

Transformation 1 : le cuivre est introduit en défaut par rapport aux ions argent.

Quantités de réactifs apportés :

- Cuivre solide : 0,23 g
- Solution de nitrate d'argent : 50 mL à la concentration en masse de 170 g.L⁻¹

Description qualitative de l'état final (photo ci-dessous)

- La solution, initialement incolore, prend une teinte bleutée.
- Le morceau de métal rouge introduit a disparu, un solide brillant apparaît.

Transformation 2 : le cuivre est introduit en défaut, mais en plus grande quantité que précédemment.

Quantités de réactifs apportés :

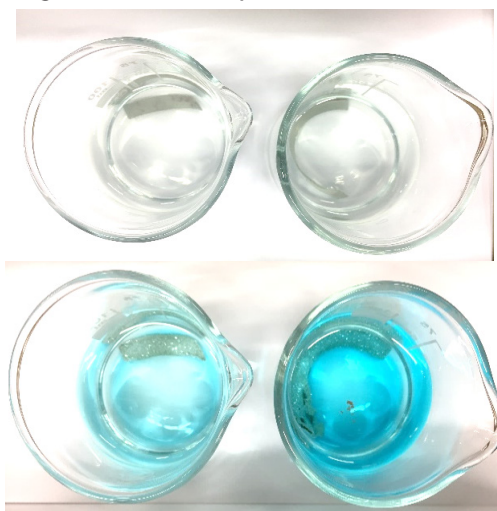
- Cuivre solide : 0,43 g
- Solution de nitrate d'argent : 50 mL à la concentration en masse de 170 g.L⁻¹

2. Isabelle Kermen, maîtresse de conférences au LDAR, a rédigé une série d'articles et d'ouvrages qui permettent de compléter cette fiche :

- Enseigner l'évolution des systèmes chimiques au lycée. Savoirs et modèles, raisonnements d'élèves, pratiques enseignantes, Presses universitaires de Rennes, 2018.
- Comment le caractère dual, macroscopique-microscopique, de la chimie s'incarne-t-il dans son enseignement ? Réflexions autour des modèles et du langage », Bull. Un. Prof. Phys. Chim., 112 (1000), 95-108.

Description qualitative de l'état final (photo ci-dessous) :

- La solution, initialement incolore, prend une teinte bleutée plus marquée que dans la transformation 1.
- Le morceau de métal rouge introduit a disparu, un solide brillant apparaît.



Comparaison de l'aspect du système à l'état initial (en haut) et final (en bas) pour la transformation 1 (à gauche) et pour la transformation 2 (à droite).

Transformation 3 : le cuivre est introduit en excès par rapport aux ions argent

Quantités de réactifs apportés :

- Cuivre solide : 3,0 g
- Solution de nitrate d'argent : 50 mL à la concentration en masse de 170 g.L⁻¹

Description qualitative de l'état final :

- Le milieu, initialement incolore, prend une teinte bleutée.
- Le morceau de cuivre est en partie recouvert d'un autre solide gris.

Retrouvez éduscol sur :



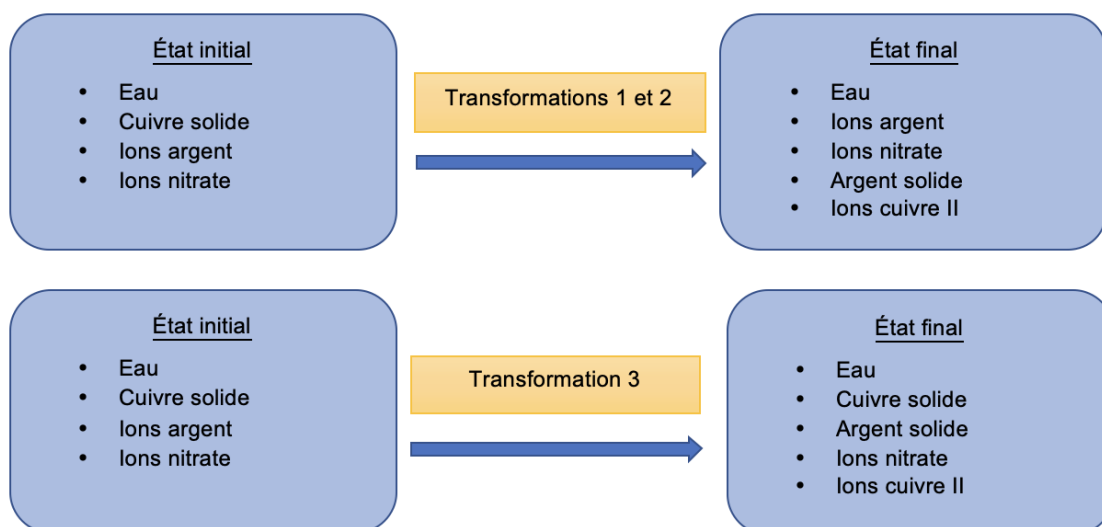
Deuxième étape : identifier les espèces présentes à l'état final pour schématiser la transformation

L'étape suivante consiste à identifier les espèces chimiques présentes dans l'état final de la transformation. Cette étape peut s'appuyer sur la réalisation de tests chimiques ou sur l'identification de propriétés caractéristiques d'espèces.

Si toutes les espèces ne peuvent pas être caractérisées au moyen des techniques disponibles dans un laboratoire de lycée, certaines peuvent l'être.

- La coloration bleue de la solution, éventuellement associée à un test par précipitation³, indique la présence de l'espèce chimique « ions cuivre Cu^{2+} » dissous en solution dans l'état final.
- Le solide brillant formé peut être identifié à de l'argent solide, en raison de sa couleur et de son caractère brillant (et de la présence d'ions argent au départ).
- La présence de l'espèce chimique « ions argent » en excès peut être mise en évidence par un test utilisant une solution de chlorure de sodium.

Une schématisation des trois transformations peut alors être proposée :



Il convient ici de remarquer que cette description de la transformation procède déjà d'une sélection des espèces, puisque les « impuretés » présentes dans n'importe quel échantillon de matière n'ont pas été prises en compte. Cette opération participe donc d'une description idéalisée de la transformation.

3. Un test utilisant une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium permettrait d'indiquer la présence des ions cuivre(II) en solution par formation d'un précipité bleu d'hydroxyde de cuivre(II). Une difficulté éventuelle est que ce test donne également un résultat positif avec les ions argent(I) marqué par l'apparition d'un précipité brun d'hydroxyde d'argent.

Troisième étape : sélectionner les espèces chimiques qui ont réagi (réactifs) ou ont été formées (produits)

La schématisation réalisée permet de séparer les espèces chimiques en trois catégories :

- les « espèces réactives » dont les quantités diminuent au cours de la transformation ;
- les « espèces produites » dont les quantités augmentent au cours de la transformation ;
- les « espèces spectatrices », généralement le solvant et les contre-ions, dont les quantités n'évoluent pas au cours de la transformation.

Point d'attention

Une « espèce réactive » n'aura pas nécessairement disparu à l'état final. Une « espèce produite » n'apparaît pas forcément au cours de la transformation, celle-ci peut très bien être déjà présente dans le système dès le début de la transformation.

Le critère simplificateur retenu pour reconnaître les espèces spectatrices (« dont les quantités de matière n'évoluent pas ») peut entrer en conflit avec la notion de catalyseur. Cet aspect, absent des programmes des classes de seconde et de première, pourra être discuté en classe de terminale.

Pour les transformations 1 à 3, les espèces peuvent être classées de la manière suivante :

- le cuivre métallique, noté Cu(s) , disparaît dans les transformations 1 et 2 et sa quantité diminue dans la transformation 3, c'est un réactif ;
- les ions cuivre, notés $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$, apparaissent dans les trois transformations ;
- l'argent métallique, noté Ag(s) , apparaît dans les trois transformations ;
- des titrages (non abordés en classe de seconde) permettraient de montrer que la quantité de matière des ions Ag^+ dissous, notés $\text{Ag}^+(\text{aq})$, a diminué (réactifs).

Cela met en évidence que ces trois transformations, aux manifestations visuelles pourtant différentes, partagent les mêmes réactifs, Cu(s) et $\text{Ag}^+(\text{aq})$, et les mêmes produits, $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ et Ag(s) .

Quatrième étape : recherche de la stœchiométrie

La recherche de relations entre les variations des quantités de matière des espèces réactives et celles des espèces produites permet d'établir l'écriture d'une équation de réaction.

Des pesées permettent de trouver une relation entre la quantité de matière de cuivre consommé et celle d'argent apparu lors de la transformation 1.

Recherche de relation de proportionnalité pour la transformation 1

Accès à la quantité de matière de cuivre transformé :

- Masse de cuivre converti : $0,23\text{ g}$
- Masse d'un atome de cuivre : $1,1 \times 10^{-22}\text{ g}$
- Nombre d'entités « atomes de cuivre » : $2,1 \times 10^{21}\text{ atomes}$
- Quantité de matière : $n_{\text{Cu}} = 3,5 \times 10^{-3}\text{ mol}$

Quantité d'argent métallique formé :

- Masse d'argent formé : $0,77\text{ g}$
- Masse d'un atome d'argent : $1,8 \times 10^{-22}\text{ g}$
- Nombre d'entités « atomes de cuivre » : $4,3 \times 10^{21}\text{ atomes}$
- Quantité de matière : $n_{\text{Ag}} = 7,1 \times 10^{-3}\text{ mol}$

Conclusion

$$n_{\text{Ag formé}} \approx 2 n_{\text{Cu ayant réagi}}$$

En classe de première, l'utilisation d'une courbe d'étalonnage d'absorbance en fonction de la concentration en quantité de matière d'ions cuivre $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ peut permettre d'obtenir une relation supplémentaire, cette fois entre la quantité de matière d'ions cuivre Cu^{2+} formés et la quantité de cuivre consommé, $n_{\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \text{ formé}} = n_{\text{Cu(s) ayant réagi}}$.

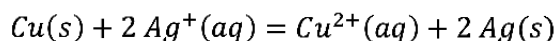
Une analyse analogue exploitant les transformations 2 et 3 permet de mettre en évidence l'existence d'un invariant commun (relations entre quantités de matière des espèces réactives et produites), alors même que l'aspect visuel de l'état final diffère.

Cinquième étape : écriture de la réaction modélisant les transformations 1 à 3

Deux critères sont convoqués lors de l'écriture d'une réaction :

- la conservation des éléments chimiques ;
- la conservation de la charge électrique.

En omettant les espèces spectatrices, les relations de proportionnalité mises en évidence permettent de modéliser les trois transformations par une même réaction, dont l'équation est :

**Point d'attention**

L'équation de réaction ne traduit nullement le déroulement microscopique de la transformation. Elle est un outil de bilan à l'échelle macroscopique et ne prend en compte que des quantités de matière déterminées à l'échelle macroscopique. Par conséquent, il faut être attentif à ne pas la décrire en disant « un atome de cuivre réagit avec deux ions argent réagissent » mais « une mole de cuivre réagit avec deux moles d'ions argent ».

Une réaction chimique modélise un ensemble de transformations chimiques qui peuvent donner lieu à des observations différentes (aspects état initial et final, quantités, vitesses, etc.).

Retrouvez eduscol sur :



Modélisation d'une transformation mettant en jeu le carbonate de calcium et l'acide chlorhydrique

Afin de disposer d'un second exemple, la démarche introduite dans la partie précédente peut être réinvestie pour modéliser d'autres transformations, par exemple, des transformations mettant en jeu de l'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$, $\text{Cl}^-(\text{aq})$) et du carbonate de calcium solide $\text{CaCO}_3(\text{s})$.

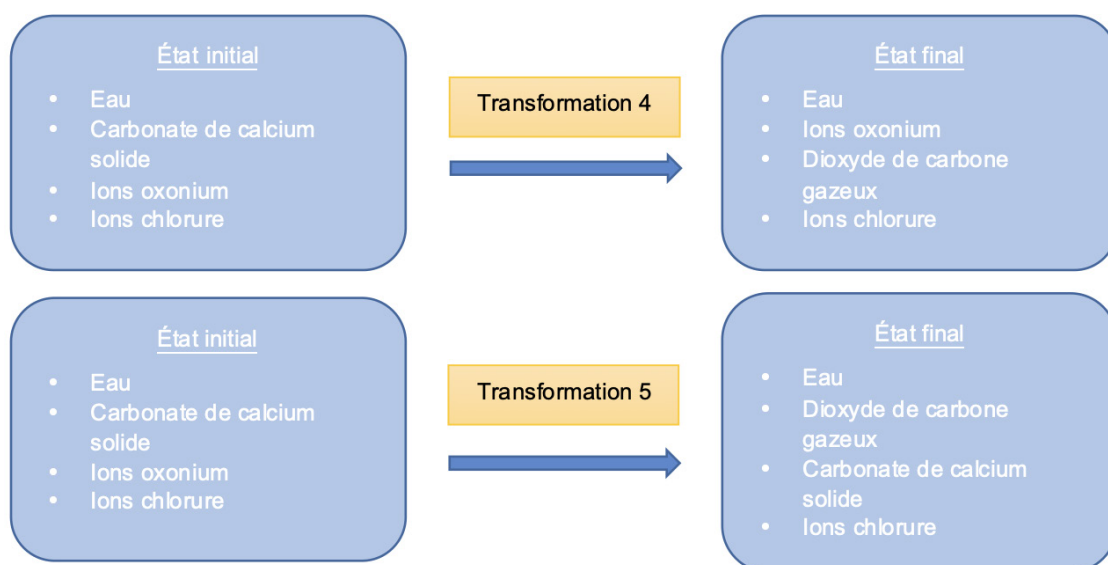
Première étape : décrire la réalité perçue

La transformation proposée consiste à verser de l'acide chlorhydrique sur du carbonate de calcium solide initialement contenu dans un erlenmeyer. Sitôt l'ajout d'acide terminé, l'erlenmeyer est fermé par un bouchon muni d'un tuyau permettant de collecter et de mesurer le volume de gaz dégagé dans une éprouvette graduée retournée remplie d'eau.

	Transformation 4	Transformation 5
Conditions	Carbonate de calcium en défaut	Carbonate de calcium en excès
Description	Un dégagement gazeux se produit. À l'état final, le solide a disparu. La solution est incolore avant et après la transformation.	Un dégagement gazeux se produit. À l'état final, une partie du solide est encore présente. La solution est incolore avant et après la transformation.

Deuxième étape : identifier les espèces présentes à l'état final pour schématiser la transformation

L'identification du dioxyde de carbone peut se faire grâce à de l'eau de chaux, celle des ions chlorure grâce à une précipitation par les ions argent. Les ions calcium peuvent être détectés par un test utilisant des ions oxalate, mais l'acidité du milieu peut rendre les résultats du test aléatoires.



Troisième étape : sélectionner les espèces chimiques qui ont réagi ou ont été formées

Les ions chlorure n'interviennent pas dans les modifications observées ; ils constituent une espèce spectatrice. Les réactifs sont le carbonate de calcium $\text{CaCO}_3(\text{s})$ et les ions oxonium $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$, les produits sont le dioxyde de carbone $\text{CO}_2(\text{g})$ et les ions calcium $\text{Ca}^{2+}(\text{aq})$.

Quatrième étape : recherche de la stœchiométrie

Le volume de dioxyde de carbone dégagé permet d'estimer la quantité de matière formée de ce gaz produit. Elle peut être, selon le cas, reliée à la quantité de matière :

- de carbonate de calcium introduit (transformation 4) :

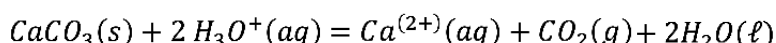
$$n_{\text{CO}_2 \text{ produit}} = n_{\text{CaCO}_3 \text{ transformé}}$$

- d'ions oxonium consommé (transformation 5) :

$$n_{\text{CO}_2 \text{ produit}} = \frac{1}{2} n_{\text{H}_3\text{O}^+ \text{ transformé}}$$

Cinquième étape : écriture de la réaction modélisant les transformations 4 et 5

Les deux transformations peuvent ici être modélisées par une même réaction d'équation :



Point d'attention

La réaction chimique constitue bien un modèle dans la mesure où elle rend compte de la réalité perçue au niveau macroscopique en indiquant les espèces dont la disparition et l'apparition sont aisément identifiables (observations, tests, etc). Elle traduit l'existence de proportions similaires lors de transformations différentes. Elle est représentée au moyen de symboles spécifiques à la chimie (formule chimique, états physiques, flèche ou signe égal) qui constitue l'équation de la réaction.

Couplée à un bilan de matière, la réaction chimique modélisant une transformation permet de prévoir, pour une transformation totale, la composition et l'aspect de l'état final.

Les étapes de modélisation d'une transformation chimique

Modéliser une transformation chimique nécessite d'observer, d'identifier, de sélectionner et de chercher des relations de proportionnalité entre les variations de quantités de matière. Isabelle Kermen propose une description de la modélisation en trois niveaux.

Registre des modèles

Réactions et équation de réaction
(modèle macroscopique)

Registre expérimental

Réalité idéalisée

Espèces chimiques
Schéma de transformation

Réalité perçue

Manifestations visuelles,
événements

Retrouvez eduscol sur :

