

Programme

Exemples d'activités

Comment décrire le système chimique et son évolution ?

À l'aide d'expériences simples à analyser, et sur la base des hypothèses formulées par les élèves, caractérisation des espèces chimiques présentes dans l'état initial (avant transformation du système) et des espèces chimiques formées :

- lame de cuivre dans solution de nitrate d'argent,
- poudre de fer dans solution de sulfate de cuivre,
- combustions du carbone, d'alcane ou d'alcools dans l'air ou l'oxygène,
- réaction du sodium et du dichlore,
- réactions de synthèse vues dans la première partie,
- précipitation de l'hydroxyde de cuivre...

Contenus

Modélisation de la transformation : réaction chimique

Exemples de transformations chimiques.
État initial et état final d'un système.
Réaction chimique.
Écriture symbolique de la réaction chimique : équation.
Réactifs et produits.
Ajustement des nombres stœchiométriques.

Connaissances et savoir-faire exigibles

Décrire un système.
Écrire l'équation de la réaction chimique avec les nombres stœchiométriques corrects.

Fil directeur

Suivre une transformation chimique au niveau macroscopique nécessite une description du système chimique subissant la transformation. Dans ce chapitre, le système est décrit avant transformation (état initial) et après transformation (état final).

On modélise la transformation par une réaction chimique entre les réactifs qui conduit aux produits. Cette réaction est symbolisée par l'équation de la réaction chimique.

La conservation des éléments ainsi que la conservation des charges lors de la réaction se traduisent par l'ajustement des nombres stœchiométriques.

1 Activité expérimentale

Comment décrire une transformation chimique ?

→ Commentaires

- Le choix de la transformation chimique est guidé par deux impératifs :
 - une transformation chimique déjà rencontrée et connue des élèves, la combustion d'un charbon de bois ou d'un fusain dans le dioxygène ;
 - des réactifs et des produits facilement reconnaissables (le carbone du charbon de bois) ou détectables par des

tests faciles à réaliser (test de reconnaissance du dioxygène O_2 et test de reconnaissance du dioxyde de carbone CO_2).

- La combustion et les tests peuvent être réalisés :
 - en salle de TP par les élèves ;
 - en salle de cours par le professeur ou par des élèves envoyés au tableau.
- Dans cette activité, il est important que les élèves puissent définir le système chimique étudié lors de cette transformation chimique. Bien insister :
 - sur les conditions de température et de pression du système ;
 - sur la présence de toutes les espèces chimiques dans le système, *avant et après* la transformation chimique.

2 Activité expérimentale

La poudre de fer réagit-elle avec le sulfate de cuivre ou les ions cuivre (II) ?

→ Commentaires

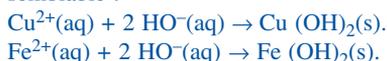
• Le programme officiel indique comme exemple d'activité à étudier : *de la poudre de fer dans une solution de sulfate de cuivre*.

Nous avons préféré donner un autre titre à cette activité pour bien mettre en évidence le fait que seuls les ions cuivre (II) réagissent avec le fer métallique.

• Pas de difficulté majeure pour réaliser cette activité sur le plan expérimental. Cette activité peut être réalisée :
– en salle de TP par les élèves ;
– en salle de cours par le professeur ou par des élèves envoyés au tableau.

• Il est important que les élèves retiennent le protocole à effectuer pour détecter, dans une solution, la présence des ions cuivre (II) Cu^{2+} et celle des ions fer (II) Fe^{2+} . Pour les deux tests de reconnaissance utilisés dans cette activité, le professeur peut écrire au tableau l'équation chimique de ces deux réactions. En effet, une des activités citées dans le programme officiel est : *précipitation de l'hydroxyde de cuivre*.

La précipitation de l'hydroxyde de fer est une réaction semblable :



Remarque

Pour une classe réceptive, le professeur peut montrer que les ions sulfate SO_4^{2-} sont présents avant et après les transformations chimiques étudiées dans les deux tests. Pour cela, il utilise ou fait utiliser les ions baryum Ba^{2+} . On constate alors que l'intensité du précipité $\text{BaSO}_4(\text{s})$ est tout aussi importante, avant et après la transformation chimique.

On peut également utiliser des bandelettes de tests quantitatifs, mais le prix de celles-ci fait que, dans la pratique, elles ne sont pas manipulées par les élèves en travaux pratiques.

• À l'issue de cette activité, il est important que les élèves puissent distinguer dans une transformation chimique : les réactifs, les produits et le réactif limitant de la transformation chimique.

La connaissance des définitions de ces termes est à retenir par les élèves.

Réponses aux questions

1. Les réactifs de la transformation chimique étudiée sont : le fer métallique Fe et les ions cuivre (II) Cu^{2+} .

Conclusion

Pour répondre à la question posée dans le titre de cette activité, le fer réagit avec les ions cuivre (II) et non avec le sulfate de cuivre (II).

- Un autre point important pour décrire un système chimique est la notation de l'état physique des différentes espèces chimiques dans le système.
- Insister également sur la présence dans certains systèmes d'une ou de plusieurs espèces chimiques qui ne réagissent pas. Elles font partie du système étudié et c'est l'objet de la question 5.

Réponses aux questions

1. Les espèces chimiques présentes dans le flacon avant la transformation sont le carbone et le dioxygène.

Remarque

On fait abstraction du fer qui soutient le charbon de bois ou le fusain. À ce sujet, il faut prendre un morceau de charbon de bois ou de fusain suffisamment important pour qu'il soit en excès, sinon c'est le fer qui va s'oxyder dans le dioxygène !

2. Les tests permettent de montrer :

– qu'il n'existe plus de dioxygène dans le flacon à la fin de la transformation (*test 1 : la baguette de bois enflammée s'éteint lorsqu'elle est plongée dans le flacon*) ;

– que le flacon est rempli de dioxyde de carbone CO_2 (*test 2 : trouble de l'eau de chaux*).

3. Le charbon de bois ne brûle pas entièrement car il n'y a pas assez de dioxygène dans le flacon.

4. La température et la pression du système sont la température et la pression régnant dans le laboratoire. Pour cela, on laisse refroidir le système à la fin de la transformation chimique.

État initial

Température : $\theta_i = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.
Pression : $P_i = 1,0 \text{ bar}$.
Espèces chimiques présentes :
– le dioxygène O_2 ;
– le carbone C.

transformation chimique du système
→

État final

Température : $\theta_f = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.
Pression : $P_f = 1,0 \text{ bar}$.
Espèces chimiques présentes :
– le dioxyde de carbone CO_2 ;
– le carbone C en excès.

5. Si la combustion se faisait dans un flacon plein d'air, le système chimique ne serait pas le même car la présence du diazote de l'air modifierait la composition du système.

Dans les conditions de l'expérience, cette espèce chimique supplémentaire ne réagit pas avec les réactifs en présence.

On aurait donc :

État initial

Température : $\theta_i = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.
Pression : $P_i = 1,0 \text{ bar}$.
Espèces chimiques présentes :
– le dioxygène O_2 ;
– le carbone C ;
– le diazote N_2 .

transformation chimique du système
→

État final

Température : $\theta_f = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.
Pression : $P_f = 1,0 \text{ bar}$.
Espèces chimiques présentes :
– le dioxyde de carbone CO_2 ;
– le carbone C en excès ;
– le diazote N_2 .

- Le réactif limitant de cette transformation chimique est les ions cuivre (II) Cu^{2+} .
- Les produits formés au cours de cette transformation chimique sont : les ions fer (II) Fe^{2+} et le métal cuivre Cu .
- Les ions sulfate SO_4^{2-} ne sont pas des réactifs mais font partie du système à l'état initial, comme à l'état final. Ce sont, en quelque sorte, des ions « spectateurs » qui ne prennent pas part à la réaction chimique.

3 Travaux pratiques

Qu'appelle-t-on réaction chimique et équation chimique ?

→ Commentaires

- Pas de difficulté pour réaliser les manipulations. Demander aux élèves de bien observer le milieu réactionnel afin de noter tous les changements de couleur ou d'aspect de celui-ci. Veiller à faire manipuler le nitrate d'argent avec précaution, celui-ci tache les mains et les vêtements de façon indélébile.
- Un des tests de reconnaissance des ions vu dans l'activité précédente est de nouveau utilisé. À ce sujet, c'est le moment de vérifier auprès des élèves si le savoir-faire de manipulation et les connaissances théoriques sont bien assimilés.
- Si on veut économiser les bandelettes-tests du laboratoire, qui coûtent relativement cher, on peut ne réaliser devant tous les élèves qu'un seul test par séance. Dans ce cas, l'ensemble des groupes utilise les résultats trouvés.

Réponses aux questions

- Avant la transformation chimique, il y a dans le bécher des ions argent et des ions nitrate. Après la transformation chimique, il y a dans le bécher des ions cuivre (II) et des ions nitrate.
- Le cuivre métallique est toujours présent dans l'état final. C'est le réactif en excès. Le réactif limitant est les ions argent qui ont disparu du milieu réactionnel, ils ont été remplacés par les ions cuivre (II).
- Bilan qualitatif de matière

État initial	transformation chimique du système	État final
Température : $\theta_i = 20^\circ\text{C}$. Pression : $P_i = 1,00\text{ bar}$. Les ions argent Ag^+ (aq). Les ions nitrate NO_3^- (aq). Le métal cuivre Cu .	→	Température : $\theta_f = 20^\circ\text{C}$. Pression : $P_f = 1,00\text{ bar}$. Les ions cuivre (II) Cu^{2+} (aq). Les ions nitrate NO_3^- (aq). Le métal argent Ag . Le métal cuivre Cu en excès.

- Vérification de l'ajustement de l'équation de la réaction par la conservation des éléments et la conservation des charges.

a. Conservation des éléments

Un élément cuivre dans les deux membres de l'équation. Deux éléments argent dans les deux membres de l'équation.

b. Conservation des charges

Deux charges positives dans chaque membre de l'équation.

- Si les nombres stœchiométriques de l'équation étaient tous égaux à 1, il y aurait eu conservation des éléments mais pas conservation des charges. L'équation de la réaction chimique ne serait donc pas ajustée.

4 Travaux pratiques

Une réaction chimique a-t-elle lieu quelle que soit la proportion des réactifs ?

→ Commentaires

- Ces travaux pratiques nécessitent de mettre en application les savoir-faire de manipulation, en particulier sur :
 - la filtration d'une solution contenant une phase liquide et une phase solide ;
 - l'identification de certains ions ;
 - la mesure d'un pH et la conclusion à apporter au résultat trouvé.
- Les manipulations proposées constituent une première approche expérimentale et qualitative pour mettre en évidence l'influence des quantités de matière des réactifs. Une étude quantitative sera reprise dans le chapitre suivant en utilisant l'avancement maximal d'une autre transformation chimique.
- C'est l'occasion de vérifier si les élèves ont bien acquis les compétences exigibles du programme, à savoir :
 - décrire un système ;
 - écrire l'équation de la réaction chimique avec les nombres stœchiométriques corrects.

Réponses aux questions

- Les trois transformations chimiques réalisées sont modélisées par la même réaction chimique dont l'écriture symbolique est :



Les ions sulfate SO_4^{2-} et les ions sodium Na^+ ne prennent pas part à la réaction chimique. Ils ne sont donc pas qualifiés de réactifs : en quelque sorte, ce sont des ions spectateurs dans le milieu réactionnel.

- Dans les trois transformations chimiques réalisées, on constate expérimentalement qu'il y a bien eu « réaction chimique ».

3. Après la transformation chimique :

– dans le bécher 1, le pH de la solution est inférieur à 8, la solution ne contient pratiquement pas d'ions hydroxyde HO^- ;

– dans le bécher 2, le pH de la solution est voisin de 7, la solution ne contient pratiquement pas d'ions hydroxyde HO^- ;

– dans le bécher 3, le pH de la solution est nettement supérieur à 8, la solution contient un excès d'ions hydroxyde HO^- .

Le test des ions cuivre (II) réalisé sur les solutions provenant des béchers 1, 2 et 3 après la transformation chimique révèle qu'une seule solution contient des ions cuivre (II), celle provenant du bécher 1.

Conclusion

Le bécher 3 contient un excès d'ions hydroxyde HO^- .

Le bécher 1 contient un excès d'ions cuivre (II) Cu^{2+} .

Le bécher 2 ne contient pas d'excès d'ions hydroxyde HO^- , ni d'excès d'ions cuivre (II) Cu^{2+} .

4. Le réactif limitant du bécher 1 est les ions hydroxyde HO^- .

Le réactif limitant du bécher 3 est les ions cuivre (II) Cu^{2+} .

5. Dans le bécher 1, le réactif limitant étant les ions hydroxyde, la quantité de matière d'hydroxyde de cuivre (II) $\text{Cu}(\text{OH})_2$ est inférieure à celle contenue dans le bécher 2.

Dans le bécher 3, le réactif limitant étant les ions cuivre (II), la quantité de matière d'hydroxyde de cuivre (II) $\text{Cu}(\text{OH})_2$ est identique à celle contenue dans le bécher 2.

L'essentiel

1 Transformation chimique d'un système

- Les élèves doivent savoir la définition d'un système chimique ou tout du moins savoir définir concrètement un système chimique sur lequel porte une étude donnée.
- Les définitions des termes suivants sont à connaître des élèves, le professeur veille à ce que ces définitions soient appliquées à bon escient : état initial et état final d'un système ; réactifs et produits d'une transformation chimique ; réactif limitant et réactif en excès.

2 La réaction chimique et l'équation chimique

- Si la réaction chimique sert de modèle à une transformation chimique, elle donne lieu à une écriture symbolique que les élèves doivent connaître et appliquer. Le programme rappelle que la réaction chimique est écrite, en classe de seconde, avec pour symbolisme, la simple flèche : \rightarrow

- Insister sur la maîtrise, par les élèves, de l'ajustement des nombres stœchiométriques d'une équation chimique. Cet ajustement est la traduction de la conservation des éléments et la conservation des charges pour une transformation chimique d'un système. Ne plus employer l'expression « conservation des atomes » donnée au collège, en classe de 4^e.

- Bien insister également sur la signification des nombres stœchiométriques puisqu'ils renseignent sur les proportions en quantités de matière dans lesquelles les réactifs réagissent et dans lesquelles les produits sont obtenus. Ces notions essentielles sont reprises et exploitées dans le chapitre suivant lors des bilans quantitatifs de matière.

Corrigés des exercices

Évaluation rapide

1 Un système chimique est un ensemble d'espèces chimiques susceptibles de réagir entre elles et sur lesquelles porte une étude particulière.

2 Un système chimique subit une transformation chimique lorsqu'une ou plusieurs espèces chimiques nouvelles sont créées avec les espèces chimiques initiales du système.

3 Température ; pression ; espèces chimiques composant le système à l'état initial ainsi que l'état physique de ces espèces.

4 Température ; pression ; espèces chimiques composant le système à l'état final ainsi que l'état physique de ces espèces.

5 Solide ; liquide ; gaz ; en solution.

6 Conservation des éléments dans les deux membres de l'équation.

7 Conservation des éléments et conservation des charges dans les deux membres de l'équation.

8 $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$.

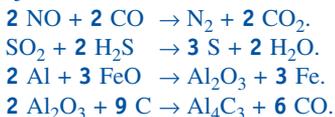
9 1. Vrai. 2. Vrai. 3. Faux, car il arrête la réaction chimique.

10 b.

11 Dioxyde de carbone CO_2 ; eau H_2O ; produits. Méthane CH_4 ; dioxygène O_2 . Réaction chimique ; transformation chimique.

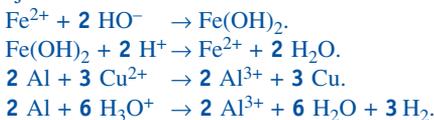
12 Conservation des éléments

Les nombres stœchiométriques des équations chimiques ajustées sont :



13 Conservation des éléments et des charges

Les nombres stœchiométriques des équations chimiques ajustées sont :



14 L'hydroxyde d'argent

1. Il y a eu transformation chimique du système considéré car deux espèces chimiques mises en présence l'une de l'autre (les ions hydroxyde HO^- et les ions argent Ag^+) réagissent ensemble pour donner des espèces chimiques nouvelles.

2. Par hypothèse, les ions argent sont en excès. Donc les ions hydroxyde sont tous consommés en fin de réaction. Tous les ions hydroxyde HO^- ont disparu du milieu réactionnel : l'ion hydroxyde est le réactif limitant.

3. L'état initial et l'état final du système sont :

État initial	transformation chimique du système	État final
Température: $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Pression: $P_i = 1,00 \text{ bar}$. Les ions argent Ag^+ (aq). Les ions nitrate NO_3^- (aq). Les ions sodium Na^+ (aq). Les ions hydroxyde: HO^- (aq).	→	Température: $\theta_f = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Pression: $P_f = 1,00 \text{ bar}$. L'hydroxyde d'argent : AgNO_3 (s). Les ions nitrate: NO_3^- (aq). Les ions sodium : Na^+ (aq).

15 Combustion du butane

1. Le système chimique considéré dans cet exemple est : {le butane utilisé pendant une journée de chauffe + l'air nécessaire à cette combustion}.

2. L'état initial et l'état final du système décrit qualitativement sont consignés dans le tableau suivant :

État initial	transformation chimique du système	État final
Température: $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Pression: $P_i = 1.013 \text{ mbar}$. Espèces chimiques : le butane utilisé CH_4 (g); le dioxygène utilisé O_2 (g); le diazote de l'air correspondant N_2 (g).	→	Température: $\theta_f = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Pression: $P_f = 1.013 \text{ mbar}$. Espèces chimiques : le dioxyde de carbone produit CO_2 (g); l'eau produite H_2O (l); le diazote de l'air correspondant N_2 (g).

3. Les réactifs sont le butane utilisé CH_4 et le dioxygène utilisé O_2 .

Les produits sont le dioxyde de carbone produit CO_2 et l'eau produite H_2O (l).

16 Du vin en vinaigre

1. Le système étudié est : {le vin + l'air de l'atmosphère}.

2. a. L'état initial et l'état final du système décrit qualitativement sont :

État initial	transformation chimique du système	État final
Température θ_i : celle de la pièce. Pression : P_i : pression atmosphérique. L'éthanol du vin $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ (l). Le dioxygène de l'air O_2 (g). Le diazote de l'air correspondant N_2 (g).	→	Température θ_f : celle de la pièce. Pression : pression atmosphérique. L'acide acétique formé $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ (g). L'eau formée H_2O (l). Le dioxygène restant O_2 (g). Le diazote de l'air restant N_2 (g).

b. Il y a eu transformation chimique car certaines espèces chimiques du système considéré ont subi une réaction chimique : des produits sont apparus dans le système.

3. a. Le réactif en excès du système est le dioxygène de l'air.

b. Le réactif limitant de cette transformation chimique est l'éthanol du vin.

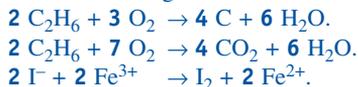
17 Équations chimiques

1. Dans une équation chimique, les réactifs sont placés à gauche de la flèche et les produits à droite.

2. Les nombres stœchiométriques sont des nombres entiers placés devant les formules des réactifs et des produits d'une équation chimique. Ces nombres, judicieusement choisis, permettent d'ajuster l'équation ; on disait autrefois : « équilibrer l'équation ».

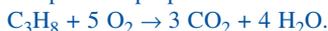
3. Pour ajuster les nombres stœchiométriques d'une équation chimique, on applique les lois de la conservation des éléments et de la conservation des charges dans l'équation.

4. Les nombres stœchiométriques des équations ajustées sont inscrits en gras :



18 Combustion d'hydrocarbure

1. L'équation de la réaction chimique de la combustion complète du propane est :



2. L'équation de la réaction chimique de la combustion complète de l'hexane est :



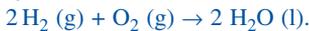
3. On vérifie expérimentalement le dégagement de dioxyde de carbone CO_2 par un barbotage de ce gaz dans de l'eau de chaux : il trouble l'eau de chaux.

19 Synthèse de l'eau

1. a. Le système chimique étudié est : {le dioxygène O_2 + le dihydrogène H_2 }.

b. L'état initial du système est : température θ_i , 20°C ; pression P_i , 1,00 bar ; dioxygène O_2 (g), $n = 0,100$ mol ; dihydrogène H_2 (g), $n = 0,100$ mol.

2. a. L'équation associée à la réaction chimique du système est :



b. Les différents nombres stœchiométriques de l'équation montrent que :

deux moles de dihydrogène H_2 réagissent avec une mole de dioxygène O_2 , pour former deux moles d'eau H_2O . Comme les réactifs sont pris avec des quantités de matière égales au début de la transformation, ceux-ci ne sont donc pas pris dans des proportions stœchiométriques.

c. Le dioxygène est en excès et le dihydrogène est le réactif limitant.

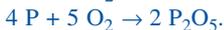
3. Après la transformation chimique, le système est constitué de :

0,100 mol d'eau et il reste 0,050 mol de dioxygène non consommé.

20 Affinage de la fonte

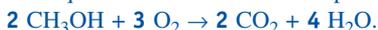
1. Les principales impuretés contenues dans la fonte sont : le carbone C ; le silicium Si ; le manganèse Mn ; le phosphore P.

2. Les équations des réactions d'oxydation écrites avec les nombres stœchiométriques corrects sont :



21 La pile à combustible DMFC

1. L'équation du bilan final des transformations chimiques intervenant dans cette pile est :



2. En utilisant une quantité de matière de 2,00 mol de méthanol dans cette pile :

a. la quantité de matière de dioxygène utilisée est de 3,00 mol ;

b. la quantité de matière de dioxyde de carbone libérée est de 2,00 mol ;

c. la quantité de matière d'eau libérée est de 4,00 mol.

22 Les pots catalytiques

1. Pour le monoxyde de carbone CO :



2. Pour l'octane C_8H_{18} :



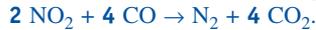
3. Pour le benzène C_6H_6 :



4. Pour le monoxyde d'azote NO :



5. Pour le dioxyde d'azote NO_2 :



23 Oxyde de cuivre (II) et carbone

1. La manipulation effectuée est la réalisation d'un mélange car les espèces chimiques mises dans le tube à essai n'ont pas changé. Il y a toujours de l'oxyde de cuivre et du carbone ; la seule différence avec le début de la manipulation, c'est que ces espèces chimiques sont intimement mélangées.

Ce n'est pas une transformation physique car les espèces chimiques sont toujours dans le même état physique qu'au début de la manipulation.

Ce n'est pas une transformation chimique car les espèces chimiques sont toujours les mêmes.

2. Il y a eu transformation chimique car les espèces chimiques à l'état final ne sont pas identiques à celles de l'état initial. Il y a eu formation de cuivre métallique et d'un gaz.

3. a. Le système étudié est : {l'oxyde de cuivre CuO + le carbone C}.

b. L'état initial du système est : température θ_i , 20°C ; pression P_i , 1,00 bar ; l'oxyde de cuivre (II) $\text{CuO}(\text{s})$; le carbone $\text{C}(\text{s})$.

4. a. Le gaz qui se dégage est du dioxyde de carbone CO_2 , gaz qui trouble l'eau de chaux.

b. Par hypothèse, il y a un excès d'oxyde de cuivre (II). L'état final du système est :

température θ_f , 20°C ; pression P_f , 1,00 bar ; l'oxyde de cuivre (II) en excès $\text{CuO}(\text{s})$; le cuivre métallique $\text{Cu}(\text{s})$; le dioxyde de carbone CO_2 (g).

5. L'équation de la réaction chimique qui a eu lieu dans le tube à essai est :

