



## Cours

« Suivi et modélisation de l'évolution d'un système chimique »

### Les compétences à acquérir...





- À partir de données expérimentales, identifier le transfert d'électrons entre deux réactifs et le modéliser par des demi-équations électroniques et par une réaction d'oxydo-réduction.
- Établir une équation de la réaction entre un oxydant et un réducteur, les couples oxydant-réducteur étant donnés.
- Mettre en œuvre des transformations modélisées par des réactions d'oxydo-réduction. une réaction d'oxydo-réduction : oxydant, réducteur, couple oxydant-réducteur, demi-équation électronique.
- Décrire qualitativement l'évolution des quantités de matière des espèces chimiques lors d'une transformation.
- Établir le tableau d'avancement d'une transformation chimique à partir de l'équation de la réaction et des quantités de matière initiales des espèces chimiques.
- Évolution des quantités de matière lors d'une transformation : État initial, notion d'avancement tableau d'avancement, état final.



## I- Etude d'une famille de transformation chimique : les réactions d'oxydoréduction



### 1-Etude expérimentale entre l'élément Cuivre et l'élément Fer :

#### Document 1

L'élément cuivre peut se trouver ...		L'élément fer peut se trouver ...	
sous forme ionique en une solution de sulfate de cuivre $\text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$	sous forme atomique dans le cas du métal cuivre <b>Cu</b>	sous forme atomique dans le cas du métal fer <b>Fe</b>	sous forme ionique en une solution de sulfate de fer $\text{Fe}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$
			

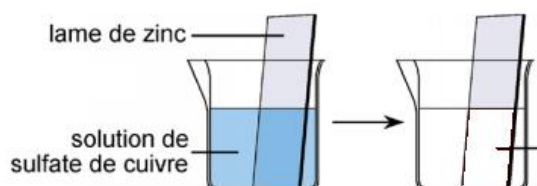
#### Document 2 : 2 tests d'identifications des ions $\text{Cu}^{2+}$ et $\text{Fe}^{2+}$

L'ajout d'hydroxyde de sodium  $\text{Na}^+ + \text{HO}^-$  entraîne, dans une solution

de sulfate de cuivre $\text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$ , un précipité <b>bleu</b>	de sulfate de fer $\text{Fe}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$ , un précipité <b>vert</b>
	

#### Expériences :

- Introduire une lame de fer dans un bécher contenant environ 50 mL de solution de sulfate cuivre. Compléter le schéma après quelques minutes



#### Notez vos observations :

- La partie de la coloration bleue nous montre qu'il y a eu une réaction. L'élément cuivre n'est plus sous forme ionique.
- Un dépôt "cuivré" s'est déposé sur la lame de fer.

**Questionnement : Comment interpréter cette transformation chimique ?**

- Que sont devenus les ions cuivre  $\text{Cu}^{2+}$  ? ... Ils se sont transformés en atomes de cuivre.

Comment des ions  $\text{Cu}^{2+}$  peuvent-ils se transformer en atomes de Cu ? Ils doivent gagner des électrons  $e^-$ .

Compléter la « demi équation » suivante  $\text{Cu}^{2+} + 2e^- = \text{Cu}$

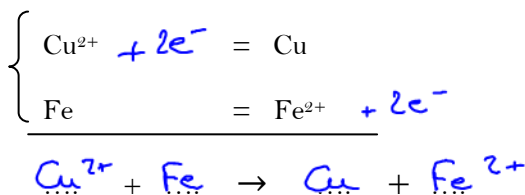
- Quels sont les ions présents, maintenant dans la solution ? Un test dans un tube à essais s'impose !

Un ajout d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+ + \text{HO}^-$ ) permet d'obtenir un précipité vert mettant en évidence la présence d'ions  $\text{Fe}^{2+}$ .

Comment des atomes Fe peuvent-ils se transformer en ions  $\text{Fe}^{2+}$  ? Des atomes de fer perdent 2 électrons.

Compléter la « demi équation » suivante  $\text{Fe} = \text{Fe}^{2+}$

**Conclusion :**



Lors de cette transformation, 2 électrons ont été échangés entre les ions  $\text{Cu}^{2+}$  et les atomes de fer Fe.

Cette transformation fait partie des réactions d'oxydoréduction

**Remarque :** Dans cette équation bilan de la réaction, on a bien un dépôt de cuivre et l'apparition d'ion fer II dans la solution.

**2- Couple oxydant/réducteur :**

**Un oxydant** est une espèce chimique susceptible de capter un ou plusieurs électrons.



Si un oxydant capte des électrons, il se transforme en réducteur : on dit qu'il subit une réduction

Dans la réaction précédente,  $\text{Cu}^{2+}$  est l'oxydant

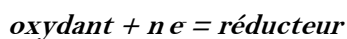
**Un réducteur** est une espèce chimique susceptible de céder un ou plusieurs électrons.



Si un réducteur cède des électrons, il se transforme en oxydant : on dit qu'il subit une oxydation

Dans la réaction précédente, Fe est le réducteur.

**Un couple oxydant / réducteur noté (Ox / Red)** est constitué par un oxydant et un réducteur conjugués qui peuvent échanger des électrons suivant la demi-équation d'oxydoréduction :



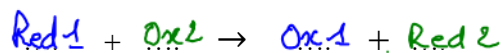
Cette demi-équation est une écriture formelle car elle ne représente pas une transformation chimique réelle.

Dans la réaction précédente, les couples mis en jeu sont  $\text{Cu}^{2+} / \text{Cu}$  et  $\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}$

### 3- Réaction d'oxydoréduction

Une réaction d'oxydoréduction met en jeu un **transfert d'électrons** entre deux couples oxydant / réducteur.

Le **réducteur du couple 1** oxydant / réducteur ( $Ox_1 / Red_1$ ) **cède** des électrons à l'oxydant du couple 2 ( $Ox_2 / Red_2$ ).



Dans la réaction précédente,

le réducteur  $Red_1$  du couple  $Ox_1 / Red_1$  cède  $n$  électrons à l'oxydant  $Ox_2$  au couple  $Ox_2 / Red_2$ .

#### 4- Pour écrire le bilan de la réaction d'oxydoréduction, vous devez :

##### Pour équilibrer les 2 demi-équations d'oxydoréduction :

- Ecrire les 2 demi-équations d'oxydoréduction en écrivant à gauche les 2 réactifs (un oxydant et un réducteur)
- Vérifier la conservation des éléments autres que O et H en ajoutant des coefficients stoechiométriques
  - Vérifier la conservation de l'élément O grâce à l'ajout éventuel de molécules d'eau  $H_2O$ .
  - Vérifier la conservation de l'élément H grâce à l'ajout éventuel de protons  $H^+_{(aq)}$ .
- Assurer la conservation de la charge électrique grâce à l'ajout d'électrons  $e^-$ .

##### Pour écrire l'équation bilan de la réaction d'oxydoréduction :

- Multiplier les demi-équations d'oxydoréduction pour qu'elles aient le même nombre d'électrons.
- Ajouter membre à membre et simplifier, éventuellement, ce bilan, en supprimant les molécules d'eau et les protons excédentaires.

En aucun cas, des électrons ne doivent apparaître dans le bilan.

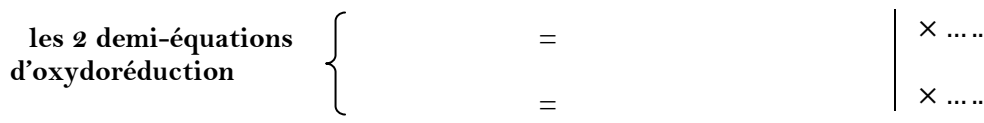
**Vérifier que tous les éléments sont équilibrés ainsi que toutes les charges.**

##### Un exemple simple :

La réaction entre les ions argent  $Ag^+$  en solution et le cuivre à l'état solide Cu met en jeu les couples  $Ag^+ / Ag$  et  $Cu^{2+} / Cu$

L'oxydant qui réagit est ici .....

Le réducteur qui réagit est ici .....



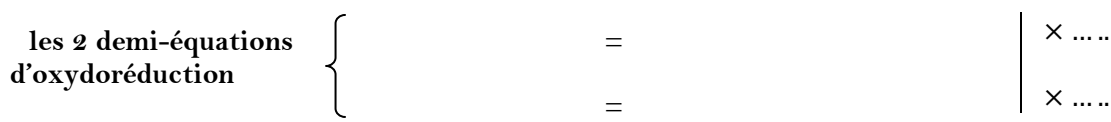
l'équation bilan de la réaction d'oxydoréduction    ... + ... → ... + ...

##### Un exemple plus complexe :

La réaction entre les ions fer II  $Fe^{2+}$  en solution et les ions hypochlorite  $ClO^-$  met en jeu les couples  $Fe^{3+} / Fe^{2+}$  et  $ClO^- / Cl_2$

L'oxydant qui réagit est ici .....

Le réducteur qui réagit est ici .....



l'équation bilan de la réaction d'oxydoréduction    →

## II- Comment suivre l'évolution d'un système chimique ?

**Système chimique :**  
ensemble d'espèces chimiques susceptibles de réagir entre elles.

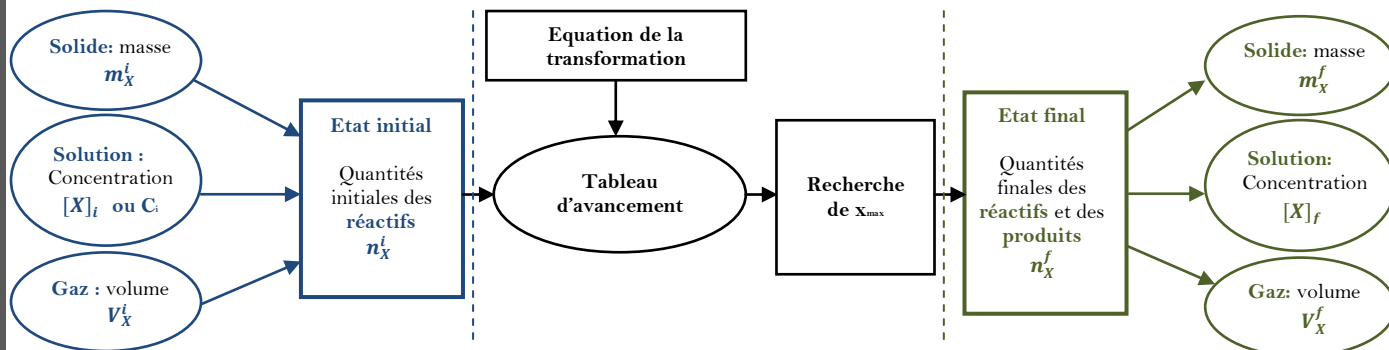
### 1- Le principe :

Lors d'une transformation chimique, un système chimique évolue entre son état initial et son état final.

L'évolution d'une telle transformation chimique est suivie à l'aide d'un **tableau d'avancement**, où figure la quantité de matière des réactifs et des produits au fur et à mesure de la transformation.

L'évolution du système est caractérisée par l'**avancement**  $x$  de la réaction, qui s'exprime en **mole**.

A l'état final, l'avancement final est noté  $x_f$ .



### 2- La méthode :

- A partir des données du texte, les quantités initiales des réactifs sont calculées (les quantités des produits étant nulles)

réactif solide	réactif en solution	réactif gazeux

- A partir des données du texte, écrire et équilibrer l'équation de la transformation
- Ecrire le tableau d'avancement de la transformation en introduisant

**l'avancement de la transformation  $x$**

$x = 0$  à l'état initial

$x$  au cours de la transformation

$x = x_f$  à l'état final

$x_f = x_{max}$  si la réaction est .....

$x_f < x_{max}$  si la réaction .....  
(on ne sait pas faire pour l'instant !)

**Remarque :**  $x_f$  est l'avancement final à la fin de la réaction  
 $x_{max}$  est l'avancement maximal à la fin de la réaction

- Recherche de la valeur  $x_f$  : Si la réaction est totale alors la réaction s'arrête lorsque, au moins, une quantité d'un réactif est .....
- Une fois la valeur de  $x_f = x_{max}$  connue, il est possible de calculer toutes les quantités des réactifs et des produits à l'état final.
- Pour conclure : les masses, les concentrations ou les volumes des réactifs ou des produits peuvent être calculés

Exemple : Voir

**Activité expérimentale 3 « Etude d'une transformation chimique entre le diiode  $I_2$  et les ions thiosulfate  $S_2O_3^{2-}$  »**

**3- Avancement final  $x_f$  et avancement maximal  $x_{max}$ :**

**Une transformation totale** est une transformation chimique qui s'arrête du fait de la consommation totale d'au moins d'un des ses réactifs  $n^f$  (réactif) = ...

- Le réactif responsable de l'arrêt de la réaction est appelé .....  $n^f$  (réactif-.....) = ...

L'autre réactif est appelé ..... si  $n^f$  (réactif-.....) .....

- L'avancement final  $x_f$  atteint sa valeur maximale donc  $x_f = \dots$

**Cas particulier** où les quantités des réactifs à l'état final sont .....  $n^f$  (réactifs) = ...

**Le mélange réactionnel est un mélange dit .....**

**Les réactifs ont été .....**

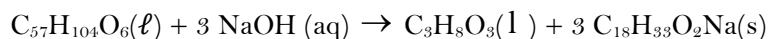
**Une transformation non totale** est une transformation qui s'arrête alors qu'aucun des réactifs n'a été entièrement consommé :  $n^f$  (réactifs) .....

- L'avancement final  $x_f$  n'atteint pas sa valeur maximale donc noté  $x_f \dots$

**4- Exemple d'étude d'une transformation chimique :** Synthèse d'un savon de formule brute  $C_{18}H_{33}O_2Na$ .

Dans un ballon on introduit un volume  $V_{ol} = 200,0$  mL d'oléine de formule brute  $C_{57}H_{104}O_6$  et de masse volumique  $\rho_{ol} = 880$  g/L, un volume  $V_1 = 20,0$  mL d'une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH(aq)) de concentration molaire  $C = 10,0$  mol.L<sup>-1</sup> et quelques grains de pierre ponce. On chauffe à reflux pendant 30 minutes.

**La réaction est totale** et l'équation de la réaction s'écrit :



Masses molaires  $M_c = 12,0$  g/mol -  $M_H = 1,00$  g/mol -  $M_o = 16,0$  g/mol  $M_N = 14,0$  g/mol -  $M_{Na} = 23,0$  g/mol

**Calcul des quantités initiales à partir des données**

Calculez la masse initiale $m_{ol}$ introduite d'oléine	Calcul de la quantité $n_{ol}$ initiale d'oléine introduite dans le ballon
Calcul de la masse molaire $M_o$	Calcul de la quantité initiale $n_{NaOH}$ d'hydroxyde de sodium

**Complétez le tableau d'avancement pour cette transformation chimique fourni en annexe.**

Équation de la transformation		$C_{57}H_{104}O_6(\ell) + 3 NaOH (aq) \rightarrow C_3H_8O_3(l) + 3 C_{18}H_{33}O_2Na(s)$			
Etat Initial (mol)	$x = \dots$				
en cours	$x$				
Etat Final (mol)	$x_f = \dots$				

**La réaction étant totale**, l'état final est obtenu lorsque l'un au moins des réactifs est épuisé.  $n^f(\dots) = 0 \text{ mol}$   
 L'état final est obtenu lorsque l'un au moins des réactifs est épuisé.  $n^f(\dots) = 0 \text{ mol}$

**Recherche de  $x_{\max}$**

$$\text{et/ou} \left\{ \begin{array}{l} n^f(\dots) = \dots = \dots \\ n^f(\dots) = \dots = \dots \end{array} \right. \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} x_{\max} = \\ x_{\max} = \end{array} \right. \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} x_{\max} = \\ x_{\max} = \end{array} \right.$$

La transformation s'arrêtera (état final) lorsque l'avancement  $x$  aura atteint la valeur  $x_f = x_{\max} = \dots$

**Le réactif limitant est** .....

**Le réactif en excès est** .....

D'après votre tableau d'avancement, **déterminez l'état final**, c'est-à-dire les quantités finales des réactifs et de produits.

Calculez la masse  $m_{\text{sav}}^f$  de savon ainsi obtenue.