

Réactions d'oxydo- réduction

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques

Réactions d'oxydo-réduction



Réactions
d'oxydo-
réduction

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques

1

Transformation modélisée par une réaction
d'oxydo-réduction

2



Illustration expérimentale

Réactions
d'oxydo-
réduction

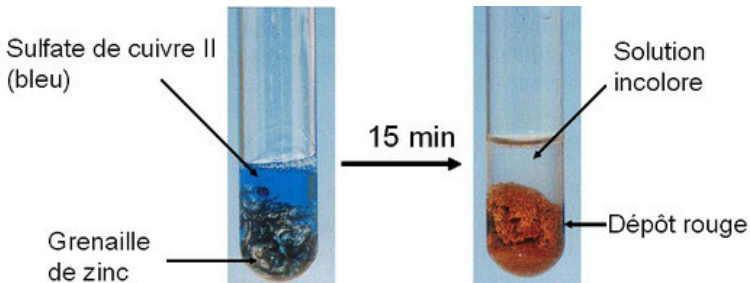
Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

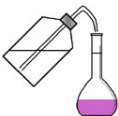
Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titrage
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques





Interprétation

Réactions
d'oxydo-
réduction

Quels sont les réactifs ?

.....

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Quels sont les produits probables ?

.....

Nombre
d'oxydation

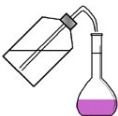
Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Quelle est l'équation de la réaction modélisant cette transforma-
tion

.....

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques



Demi-equations/couple redox

Une réaction d'oxydoréduction résulte d'un transfert d'électrons entre deux espèces chimiques.

Définition : Oxydant

.....

.....

.....

Définition : Réducteur

.....

.....

.....

Réactions
d'oxydo-
réduction

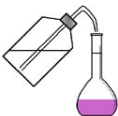
Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques



Réactions
d'oxydo-
réduction

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potentiométrie

Piles électro-
chimiques

Définition : Couple redox

.....

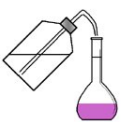
.....

.....

.....

Demi-équation rédox

.....



Réactions
d'oxydo-
réduction

Quels sont les couples rédox mis en jeu dans la transformation précédente ?

.....

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Quelles sont les demi-réactions associées à cette transformation

.....

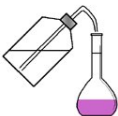
Nombre
d'oxydation

.....

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques



Équilibrer une équation rédox

Exemple de la réaction entre le permanganate de potassium et l'eau oxygénée.

Couples : $\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}$; $\text{H}_2\text{O}_2 / \text{H}_2\text{O}$

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Réactions
d'oxydo-
réduction

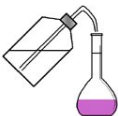
Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques



Réactions d'oxydo- réduction

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques

2

Nombre d'oxydation



Réactions
d'oxydo-
réduction

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques

Le nombre d'oxydation fixe à l'aide de certaines règles l'état d'oxydation d'un élément à l'état atomique dans une molécule ou dans un ion.

- ▶ Élément à l'état atomique : n.o. = 0

Exemples :

.....

.....

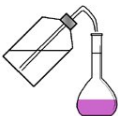
- ▶ Ion monoatomique : n.o. = charge de l'ion

Exemples :

.....

.....

.....



Réactions
d'oxydo-
réduction

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques

- ▶ Élément dans un corps simple polyatomique (liaison non polarisées) : $n.o = 0$

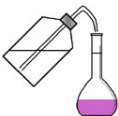
Exemples :

.....
.....

- ▶ Élément dans une molécule (liaison polarisées) : $\sum n.o = 0$
On considère que l'élément le plus électronégatif attire à lui les électrons des liaisons.

Exemples : HCl, H₂O, NaOH

.....
.....



Électronégativité

Capacité d'un élément à attirer à lui les électrons d'une liaison covalente

Réactions d'oxydo-réduction

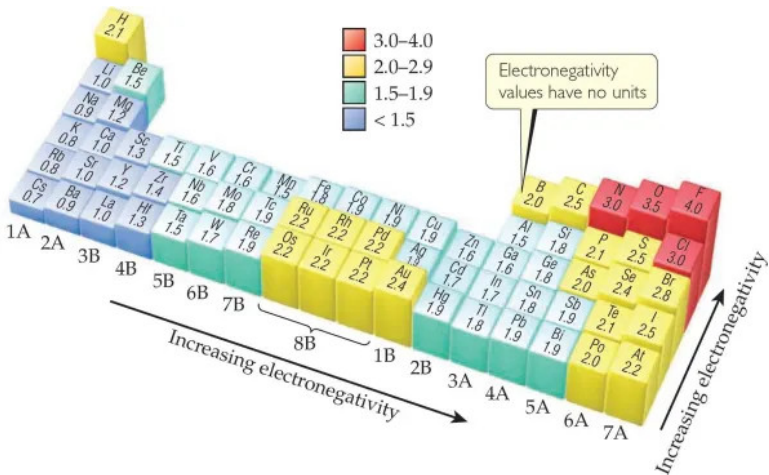
Transformation modélisée par une réaction d'oxydo-réduction

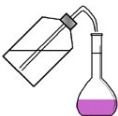
Nombre d'oxydation

Aspect thermodynamique des réactions d'oxydo-réduction

Titrage redox suivi par potentiométrie

Piles électrochimiques





Réactions
d'oxydo-
réduction

► Éléments dans un ion polyatomique : $\sum n.o = \text{charge de l'ion}$

Exemples : MnO_4^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Réactions d'oxydo- réduction

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

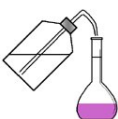
Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques

3

Aspect thermodynamique des réactions d'oxydo-réduction



Échelle des potentiels standards

À chaque couple Ox/Red, on associe une grandeur thermodynamique E° appelé le potentiel standard du couple qui caractérise la force des oxydant et des réducteurs

	E° (V)	
MnO_4^-	1,51	Mn^{2+}
$\text{O}_{2(g)}$	1,23	H_2O
Fe^{3+}	0,77	Fe^{2+}
Cu^{2+}	0,34	Cu
H^+	0,0	$\text{H}_{2(g)}$
Fe^{2+}	-0,44	Fe
Zn^{2+}	-0,76	Zn

Pouvoir oxydant ↑

↓ Pouvoir réducteur

Réactions
d'oxydo-
réduction

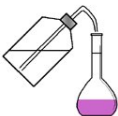
Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques



L'ESH, origine des potentiels standards

Réactions
d'oxydo-
réduction

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

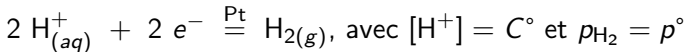
Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potentiométrie

Piles électro-
chimiques

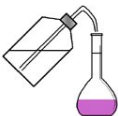
Par convention, une électrode de platine plongeant dans une solution $[H^+] = C^\circ = 1 \text{ mol/L}$ et soumise à un courant gazeux de dihydrogène à la pression $p_{H_2} = p^\circ = 1 \text{ bar}$ est au potentiel 0 V .

L'électrode standard à hydrogène (ESH)



$$E^\circ_{ESH} = 0 \text{ V}$$

Cette électrode peut servir pour déterminer les potentiels standards des autres couples Ox/Red en formant des piles électrochimiques (voir après)



Réactions
d'oxydo-
réduction

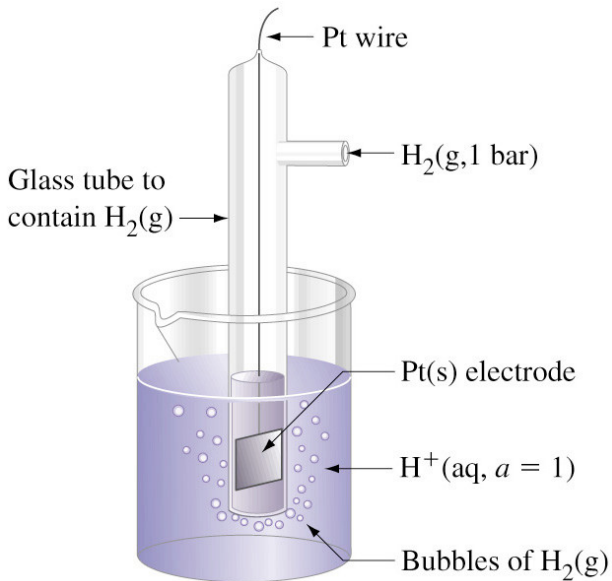
Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques





L'électrode au calomel saturé (ECS)

Réactions
d'oxydo-
réduction

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

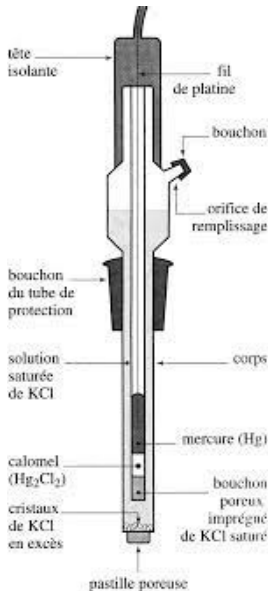
Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

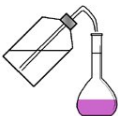
Titration
redox suivi
par potentiométrie

Piles électro-
chimiques

L'ESH n'est pas facile à réaliser en pratique. On utilise généralement une autre électrode de référence pour déterminer des potentiels standards : l'électrode au calomel saturé qui met en œuvre le couple $\text{Hg}_2\text{Cl}_2/\text{Hg}$ et dont le potentiel vaut :

$$E_{ECS} = +0.244 \text{ V}$$





Relation de Nernst

Réactions
d'oxydo-
réduction

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titrage
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques

Les potentiels standards sont des grandeurs tabulées. La grandeur que mesure un voltmètre est une différence de potentiel. Quel est le lien entre le potentiel auquel peut être porté une électrode ou une solution et le potentiel standard du couple mis en œuvre ?

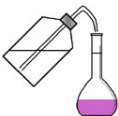
Relation de Nernst

Soit la demi-équation $\alpha \text{Ox} + n e^- = \beta \text{Red}$

$$E(\text{Ox}/\text{Red}) = E^\circ(\text{Ox}/\text{Red}) + \frac{RT}{n\mathcal{F}} \ln \frac{a_{\text{Ox}}^\alpha}{a_{\text{Red}}^\beta}$$

À 25 °C, on l'écrit souvent sous la forme

$$E(\text{Ox}/\text{Red}) = E^\circ(\text{Ox}/\text{Red}) + \frac{0,06}{n} \log \frac{a_{\text{Ox}}^\alpha}{a_{\text{Red}}^\beta}$$



Réactions
d'oxydo-
réduction

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potentiomé-
trie

Piles électro-
chimiques

$\mathcal{F} = 96\,500 \text{ C/mol}$ est la constante de Faraday. Elle représente la valeur absolue de la charge d'une mole d'électrons ($\mathcal{F} = \mathcal{N}_A e$)

Exemples : Écrire la relation de Nernst associée aux couples : $\text{Cu}_{(aq)}^{2+}/\text{Cu}_{(s)}$; $\text{Fe}_{(aq)}^{3+}/\text{Fe}_{(aq)}^{2+}$; $\text{MnO}_{4(aq)}^{-}/\text{Mn}_{(aq)}^{2+}$; $\text{Cr}_2\text{O}_{7(aq)}^{2-}/\text{Cr}_{(aq)}^{3+}$; $\text{O}_{2(g)}/\text{H}_2\text{O}_{(\ell)}$

.....

.....

.....

.....

.....



Réactions
d'oxydo-
réduction

.....

.....

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

.....

.....

Nombre
d'oxydation

.....

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

.....

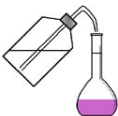
.....

Titrage
redox suivi
par potenti-
ométrie

.....

Piles électro-
chimiques

.....



Constante d'équilibre

Calculer la constante d'équilibre associée à la réaction des ions cuivre II sur le zinc solide. Le zinc réagit-il en présence de sulfate de cuivre ?

Réactions
d'oxydo-
réduction

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques

.....

.....

.....

.....

.....

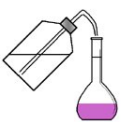
.....

.....

.....

.....

.....



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Réactions
d'oxydo-
réduction

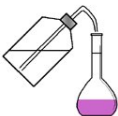
Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titrage
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques



Calculer la constante d'équilibre associée à la réaction des ions permanganate avec l'eau oxygénée ($E^\circ(\text{O}_{2(g)}/\text{H}_2\text{O}_{2(aq)}) = 0.68 \text{ V}$) et conclure.

Réactions
d'oxydo-
réduction

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Réactions
d'oxydo-
réduction

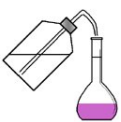
Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titrage
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques



Généralisation : Règle du gamma et calcul de K°

Réactions
d'oxydo-
réduction

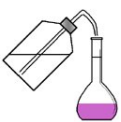
Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques



Les couples redox de l'eau

Réactions d'oxydo- réduction

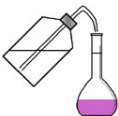
Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques



Diagrammes de prédominance

Réactions
d'oxydo-
réduction

- ▶ Axe gradué en potentiel (en V).
- ▶ On respecte une convention frontière.
- ▶ On exploite la relation de Nersnt.

Exemple :

1. Tracer le diagramme de prédominance du cuivre intervenant dans le couple $\text{Cu}_{(aq)}^{2+}/\text{Cu}_{(s)}$ avec pour convention frontière $[\text{Cu}^{2+}] = 0.01 \text{ mol/L}$
2. Utiliser le même axe pour représenter le diagramme de prédominance du zinc intervenant dans le couple $\text{Zn}_{(aq)}^{2+}/\text{Zn}_{(s)}$ avec pour convention frontière $[\text{Zn}^{2+}] = 0.01 \text{ mol/L}$
3. Conclure

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titrage
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Réactions
d'oxydo-
réduction

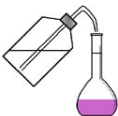
Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titrage
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques



Application : Couples du fer

On donne les couples suivants : $\text{Fe}_{(aq)}^{3+}/\text{Fe}_{(aq)}^{2+}$ $E^\circ_1 = 0.77 \text{ V}$ et $\text{Fe}_{(aq)}^{2+}/\text{Fe}_{(s)}$ $E^\circ_2 = -0.44 \text{ V}$. Tracer le diagramme de prédominance du Fer. Aux frontières, la concentration totale en espèces dissoute est 1 mol/L.

Réactions
d'oxydo-
réduction

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques

.....

.....

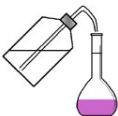
.....

.....

.....

.....

.....



Application : Ion cuivreux

Réactions
d'oxydo-
réduction

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

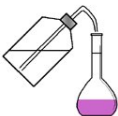
Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques

1. On donne les couples suivants : $\text{Cu}_{(aq)}^{2+}/\text{Cu}_{(aq)}^{+}$
 $E^{\circ}_1 = 0.17\text{ V}$ et $\text{Cu}_{(aq)}^{+}/\text{Cu}_{(s)}$ $E^{\circ}_2 = 0.52\text{ V}$.
Tracer le diagramme de prédominance du cuivre associé
aux couples précédents et conclure.
2. Déterminer le potentiel standard du couple $\text{Cu}_{(aq)}^{2+}/\text{Cu}_{(s)}$ à
partir de E°_1 et E°_2 .



Réactions d'oxydo- réduction

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

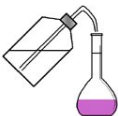
Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

**Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie**

Piles électro-
chimiques

4

Titration redox suivi par potentiométrie



Titration des ions ferreux par les ions cerrique

Réactions
d'oxydo-
réduction

Les ions ferreux Fe^{2+} sont essentiels pour le transport de l'oxygène dans le sang. On propose de titrer des ions ferreux dans une solution par les ions cerriques Ce^{4+} .

Les couples mis en œuvre dans ce titrage sont $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ $E^\circ_1 = 0.77 \text{ V}$ et $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$ $E^\circ_2 = 1.74 \text{ V}$

On se place en milieu acide.

1. Écrire l'équation de la réaction et vérifier qu'on peut la considérer comme quasi-totale.

On suppose que la réaction est rapide et on titre 10.0 mL d'une solution d'ions ferreux par une solution d'ions cerrique.

On titre un volume $V_0 = 10 \text{ mL}$ de la solution d'ions ferreux par une solution de concentration $C = 0.10 \text{ mol/L}$ en ions cerrique.

Le suivi potentiométrique est assuré par un voltmètre relié à une électrode de platine et une électrode au calomel saturé (ECS).

On ajoute également 50 mL d'eau distillée.

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titrage
redox suivi
par potenti-
métrie

Piles électro-
chimiques



Réactions d'oxydo- réduction

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

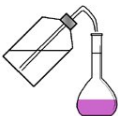
Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titrage
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques

2. Faire un schéma du montage.
3. Quel est le rôle de chacune des 2 électrodes.
4. Pourquoi ajouter de l'eau ? Quel sera l'effet de cet ajout sur le titrage ?
5. Déterminer l'expression du potentiel de la solution titrée en fonction du volume de solution titrante versé avant et après l'équivalence, puis tracer la courbe représentant $E(V) = f(V)$. Comment exploiter cette courbe pour déterminer le volume à l'équivalence ?
6. Déterminer la concentration en ions Fe^{2+} dans la solution à titrer.



Réactions d'oxydo- réduction

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

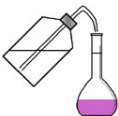
Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

**Piles électro-
chimiques**

5

Piles électrochimiques



Principe d'une cellule électrochimique

Réactions
d'oxydo-
réduction

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titrage
redox suivi
par potentiomé-
trie

Piles électro-
chimiques

Jusqu'à présent on a toujours considéré des systèmes où l'oxydant et le réducteur sont directement en contact. La réaction qui a lieu correspond alors à un transfert direct d'électrons du réducteur vers l'oxydant.

Une cellule électrochimique est un système où l'oxydant et le réducteur ne sont pas en contact mais reliés électriquement par une jonction électrolytique (paroi poreuse ou pont salin).

Il existe des cellules électrochimiques génératrices (piles) ou réceptrices (électrolyseurs).

Une pile est constituée de deux demi-piles. Chaque demi-pile est le siège d'une réaction d'oxydation ou de réduction.



Exemple : la pile Daniell

Réactions
d'oxydo-
réduction

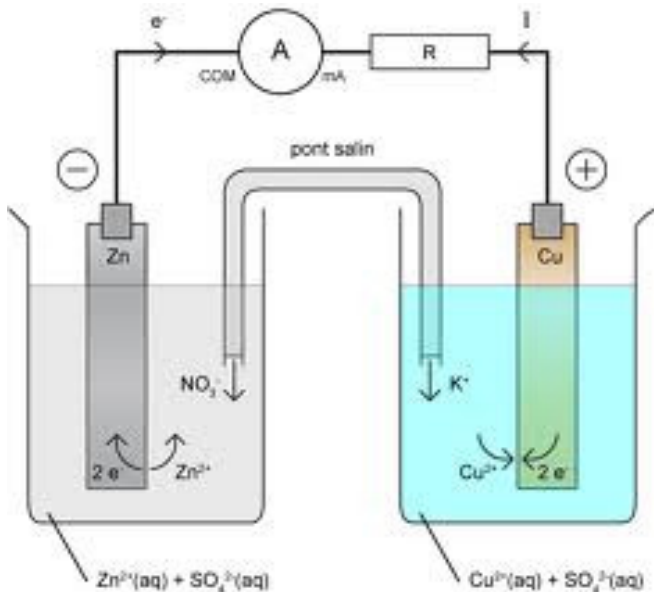
Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

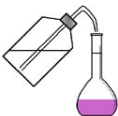
Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
métrie

Piles électro-
chimiques





Écriture symbolique de la pile :

.....

Rôles du pont salin :

.....

.....

.....

Définition : Anode

.....

Réactions
d'oxydo-
réduction

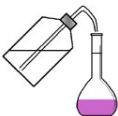
Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques



Réactions d'oxydo-réduction

Transformation modélisée par une réaction d'oxydo-réduction

Nombre d'oxydation

Aspect thermodynamique des réactions d'oxydo-réduction

Titrage redox suivi par potentiométrie

Piles électrochimiques

Définition : Cathode

.....

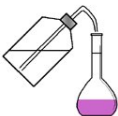
.....

Définition : force électromotrice de la pile

.....

Calculer la force électromotrice d'une pile Daniell mettant en jeu des solutions à 1 mol/L.

.....



Usure d'une pile

Réactions
d'oxydo-
réduction

Quelle est la condition d'usure de la pile ?

.....

.....

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Calculer les concentration en Zn^{2+} et en Cu^{2+} quand la pile s'arrête de de débiter.

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques

.....

.....

.....

.....

.....



-
-
-
-
-
-
-
-
-
-

Réactions
d'oxydo-
réduction

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titrage
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques



Quantité d'électricité disponible

On considère des volumes de solution égaux dans les deux demi-piles à $V = 100 \text{ mL}$.

Réactions
d'oxydo-
réduction

Transformation
modélisée
par une
réaction
d'oxydo-
réduction

Nombre
d'oxydation

Aspect
thermodyna-
mique des
réactions
d'oxydo-
réduction

Titration
redox suivi
par potenti-
ométrie

Piles électro-
chimiques

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....