

ETINCELLE CHIMIE



Auteurs

Driss FAZAZI

Inspecteur principal du second cycle
de physique-chimie

Mohammed EL HEDDARI

Ex-inspecteur principal du second cycle
de physique-chimie

Sommaire...

Chimie

Conductivités molaires ioniques de quelques ions.....	05
Tableau des pKa de quelques couples (Acide/Base).....	06
► Partie 1 : Chimie Minérale	
CHAPITRE 1 : Transformations	07
Activité 1 : Distinction entre réaction lente et rapide.....	08
Activité 2 : Foncteurs cinétiques.....	10
<i>L'essentiel du cours</i>	14
<i>Exercices d'application</i>	15
CHAPITRE 2 : Suivi temporel d'une réaction chimique	19
Activité 1 : Suivi d'une réaction par mesure de concentration.....	20
Activité 2 : Suivi d'une réaction par mesure de pression.....	24
Activité 3 : Suivi d'une réaction par conductimètre.....	28
<i>L'essentiel du cours</i>	32
<i>Exercices d'application</i>	33
CHAPITRE 3 : Transformations chimiques qui ont lieu dans les deux sens	37
Activité 1 : Agencement d'une réaction chimique.....	38
Activité 2 : Réaction on transformation.....	42
<i>L'essentiel du cours</i>	44
<i>Exercices d'application</i>	45
CHAPITRE 4 : État d'équilibre d'un système chimique	49
Activité 1 : Quotient de réaction au cours d'une réaction.....	50
Activité 2 : Quotient de réaction à l'équilibre.....	52
Activité 3 : Constante d'équilibre et état final.....	56
<i>L'essentiel du cours</i>	58
<i>Exercices d'application</i>	59
CHAPITRE 5 : Transformations liées à des réactions acido - basiques	63
Activité 1 : Degré d'acidité ou de basicité.....	64
Activité 2 : Dominance d'une entité chimique en solution.....	68
<i>L'essentiel du cours</i>	72
<i>Exercices d'application</i>	73
CHAPITRE 6 : Dosage acido-basiques	77
Activité 1 : Dosage d'un acide par une base.....	78
<i>L'essentiel du cours</i>	82
<i>Exercices d'application</i>	83
CHAPITRE 7 : Transformations spontanées dans les piles	87
Activité 1 : Principe de fonctionnement d'une pile.....	88
<i>L'essentiel du cours</i>	90
<i>Exercices d'application</i>	91
CHAPITRE 8 : Transformations forcées	95
Activité 1 : Réalisation d'une électrolyse.....	96
Activité 2 : Applications pratiques de l'électrolyse.....	100
<i>L'essentiel du cours</i>	104
<i>Exercices d'application</i>	105
► Partie 2 : Chimie Organique	
CHAPITRE 1 : Réaction d'estérification - Hydrolyse	109
Activité 1 : Nomenclature de quelques composés.....	110
Activité 2 : Réaction d'estérification.....	114
Activité 3 : Intérêt du chauffage.....	118
Activité 4 : Synthèse d'un ester.....	122
Activité 5 : Rendement d'une réaction d'estérification.....	126
<i>L'essentiel du cours</i>	130
<i>Exercices d'application</i>	131
CHAPITRE 2 : Contrôle de l'évolution des réactions d'estérification et d'hydrolyse	139
Activité 1 : Synthèse d'un médicament.....	140
Activité 2 : Réaction de saponification.....	144
Activité 3 : Principe de nettoyage.....	148
<i>L'essentiel du cours</i>	152
<i>Exercices d'application</i>	153
► Tableau de quelques indicateurs colorés	157
► Calculatrice scientifique	158
► Tableau périodique des éléments chimiques	159

Conductivités molaires ioniques de quelques ions

1. Cations :

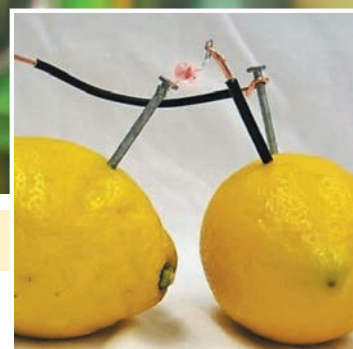
Nom et formule		λ° (mS.m ² .mol ⁻¹)
Ammonium	NH ₄ ⁺	7,345
Argent	Ag ⁺	6,19
Baryum	Ba ²⁺	12,73
Calcium	Ca ²⁺	11,9
Cuivre(II)	Cu ²⁺	10,76
Fer(II)	Fe ²⁺	10,8
Fer(III)	Fe ³⁺	20,4
Aluminium	Al ³⁺	18,9
Lithium	Li ⁺	3,87
Magnésium	Mg ²⁺	10,62
Oxonium	H ₃ O ⁺	34,98
Plomb	Pb ²⁺	13,892
Sodium	Na ⁺	5,011
Zinc	Zn ²⁺	10,56
Potassium	K ⁺	7,35
Sodium	Na ⁺	5,01

2. Anions :

Nom et formule		λ° (mS.m ² .mol ⁻¹)
Éthanoate	CH ₃ COO ⁻	4,09
Méthanoate	HCOO ⁻	5,46
Benzoate	C ₆ H ₅ COO ⁻	3,235
Bromure	Br ⁻	7,83
Carbonate	CO ₃ ²⁻	13,86
Chlorure	Cl ⁻	7,63
Fluorure	F ⁻	5,54
Hydrogénocarbonate	HCO ₃ ²⁻	4,45
Dihydrogénophosphate	H ₂ PO ₄ ⁻	3,3
Phosphate	PO ₄ ³⁻	27,84
Hydroxyde	HO ⁻	19,8
Iodure	I ⁻	7,68
Nitrate	NO ₃ ⁻	7,144
Oxalate	C ₂ O ₄ ²⁻	14,84
Sulfate	SO ₄ ²⁻	16,0
Nitrate	NO ₃ ⁻	7,14
Permanganate	MnO ₄ ⁻	6,1

Tableau des pKa de quelques couples (Acide/Base)

Acide	Base	Formule acide	Formule base	pKa ₁	pKa ₂
Acétique	Acétate (Ion)	CH ₃ COOH	CH ₃ COO ⁻	4,8	
Acétylsalicylique	Acétylsalicylate (Ion)	C ₈ O ₂ H ₇ COOH	C ₈ O ₂ H ₇ COO ⁻	3,5	
Ammonium (Ion)	Ammoniaque	NH ₄ ⁺	NH ₃	9,2	
Ascorbique	Ascorbate (Ion)	C ₆ H ₈ O ₆	C ₆ H ₇ O ₆ ⁻	4,05	
Benzoïque	Benzoate (Ion)	C ₆ H ₅ COOH	C ₆ H ₅ COO ⁻	4,2	
Bromhydrique	Bromure (Ion)	HBr	Br ⁻	- 4,1	
Chlorhydrique	Chlorure (Ion)	HCl	Cl ⁻	- 6,3	
Chloroéthanoïque	Chloroéthanoate (Ion)	ClCH ₂ COOH	ClCH ₂ COO ⁻	2,8	
Citrique	Citrate (Ion)	C ₆ H ₈ O ₇	C ₆ H ₅ O ₇ ³⁻	3,13	4,76
Cyanhydrique	Cyanure (Ion)	HCN	CN ⁻	9,21	
Dichloroéthanoïque	Dichloroéthanoate (Ion)	Cl ₂ CHCOOH	Cl ₂ CHCOO ⁻	1,3	
Dihydrogénophosphate	Hydrogénophosphate (Ion)	H ₂ PO ₄ ⁻	HPO ₄ ²⁻	7,2	
Diméthylammonium(Ion)	Diméthylamine	(CH ₃) ₂ NH ₂ ⁺	(CH ₃) ₂ NH	11	
Dioxyde de Carbone	Hydrogénocarbonate (Ion)	CO ₂ ,H ₂ O	HCO ₃ ⁻	6,35	
Dioxyde de Soufre	Hydrogénosulfite (Ion)	SO ₂ ,H ₂ O	HSO ₃ ⁻	1,76	
Eau	Hydroxyde (Ion)	H ₂ O	HO ⁻	14	
Ethanol	Ethanolate (Ion)	CH ₃ CH ₂ OH	CH ₃ CH ₂ O ⁻	15,9	
Fluorhydrique	Fluorure (Ion)	HF	F ⁻	3,17	
Hydrogénocarbonate(Ion)	Carbonate (Ion)	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	10,3	
Hydrogénophosphate(Ion)	Phosphate (Ion)	HPO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	12,4	
Hydrogénosulfate(Ion)	Sulfate (Ion)	HSO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	1,9	
Hydrogénosulfite(Ion)	Sulfite (Ion)	HSO ₃ ⁻	SO ₃ ²⁻	7,2	
Hydrogénosulfure(Ion)	Sulfure (Ion)	HS ⁻	S ²⁻	12,9	
Hydroxylammonium(Ion)	Hydroxylamine	NH ₃ OH ⁺	NH ₂ OH	6,0	
Hypochloreux	Hypochlorite (Ion)	HClO	ClO ⁻	7,3	
Iodhydrique	Iodure (Ion)	HI	I ⁻	-1	
Iodique	Iodate (Ion)	HIO ₃	IO ₃ ⁻	0,78	
Lactique	Lactate (Ion)	CH ₃ CHOHCOOH	CH ₃ CHOHCOO ⁻	3,9	
Maléique	Maléate (Ion)	C ₄ H ₄ O ₄	C ₄ H ₂ O ₄ ²⁻	1,91	6,33
Malique	Malate (Ion)	C ₄ H ₆ O ₅	C ₄ H ₄ O ₅ ²⁻	3,46	5,1
Méthanoïque	Méthanoate (Ion)	HCOOH	HCOO ⁻	3,8	
Méthylammonium (Ion)	Méthylamine	CH ₃ NH ₃ ⁺	CH ₃ NH ₂	10,7	
Nitreux	Nitrite (Ion)	HNO ₂	NO ₂ ⁻	3,3	
Nitrique	Nitrate (Ion)	HNO ₃	NO ₃ ⁻	-1,8	
Oxalique	Oxalate (Ion)	H ₂ C ₂ O ₄	C ₂ O ₄ ²⁻	1,23	4,19
Oxonium (Ion)	Eau	H ₃ O ⁺	H ₂ O	0	
Phénol	Phénolate (Ion)	C ₆ H ₅ OH	C ₆ H ₅ O ⁻	10	
Phosphorique	Dihydrogénophosphate (Ion)	H ₃ PO ₄	H ₂ PO ₄ ⁻	2,1	
Propanoïque	Propanoate (Ion)	C ₂ H ₅ COOH	C ₂ H ₅ COO ⁻	4,87	
Pyridinium(Ion)	Pyridine	C ₅ H ₅ NH ⁺	C ₅ H ₅ N	5,2	
Salicylique	Salicylate (Ion)	C ₆ H ₄ OHCOOH	C ₆ H ₄ OHCOO ⁻	3,0	
Sulfamique	Sulfamate (Ion)	NH ₂ SO ₃ H	NH ₂ SO ₃ ⁻	1,05	
Sulfure d'hydrogène	Hydrogénosulfure (Ion)	H ₂ S	HS ⁻	7	
Sulfurique	Hydrogénosulfate (Ion)	H ₂ SO ₄	HSO ₄ ⁻	-3	
Trichloréthanoïque	Trichloréthanoate (Ion)	CCl ₃ COOH	CCl ₃ COO ⁻	0,6	
Triméthylammonium (Ion)	Triméthylamine	(CH ₃) ₃ NH ⁺	(CH ₃) ₃ N	9,9	



La pile est un dispositif électrochimique qui convertit l'énergie chimique en énergie électrique grâce à une réaction chimique

TRANSFORMATIONS SPONTANÉES DANS LES PILES

Quelle est la réaction permettant la production d'électricité ?

Objectifs

- Transfert spontané d'électrons entre des espèces chimiques (mêlées ou séparées) de deux couples (Ox/Red) de type (ion métallique / métal), ($M^{n+}/M_{(s)}$).
- Constitution et fonctionnement d'une pile:
Observation du sens de circulation du courant électrique, mesure de la force électromotrice E(f.é.m), mouvement des porteurs de charges, rôle du pont salin (jonction électrolytique), réactions aux électrodes.
- La pile un système hors équilibre au cours de son fonctionnement en générateur. Lors de l'évolution spontanée, la valeur du quotient de réaction tend vers la constante d'équilibre.
- La pile à l'équilibre "pile usée" : quantité d'électricité maximale débitée dans un circuit.

Principe de fonctionnement d'une pile

Objectif

Comprendre le principe de fonctionnement d'une pile

Activité expérimentale

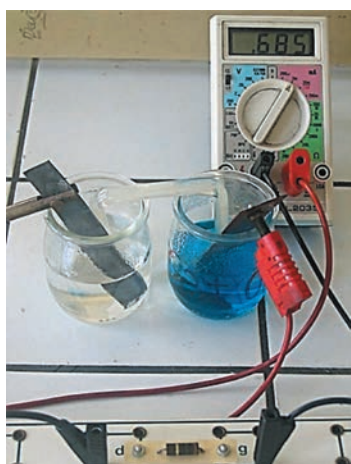
Au moment où le développement du télégraphe faisait apparaître la nécessité de sources de courant sûres et constants, John Daniell inventait une pile portant son nom

► **Quel est le principe de fonctionnement de cette pile ?**

Matériel :

- Deux électrodes composées d'une plaque de cuivre (rouge) et d'une plaque de zinc (blanc gris) ;
- Solution de sulfate de cuivre II (bleu), solution de sulfate de zinc (incolor), solution saturée de chlorure de potassium.
- Deux béchers, un ampèremètre, un résistor, un tube en U.

Doc.1 Pile Daniell



Manipulation : (Doc. 1)

1. Remplir le tube en U de la solution de chlorure de potassium, et fermer ses extrémités par du plâtre ou du coton ;
2. Remplir à moitié chacun des deux béchers par l'une des deux autres solutions ;
3. Placer chacune des deux électrodes dans la solution contenant l'ion correspondant à son métal ;
4. Relier, à travers le résistor, les deux électrodes aux bornes de l'ampèremètre:
 - Fil rouge à la borne (mA) de l'ampèremètre ;
 - Fil noir à la borne COM.

Remarque :

- Un pot d'argile (Doc. 2), ou un papier filtre imbibé de la solution de chlorure de potassium, peuvent remplacer le tube en U ;
- L'argile est perméable aux ions et non aux solutions.

Doc.2 Autre dispositif de la pile



Piste de travail :

L'ampèremètre indique une valeur positive :

- 1- Quel est le sens conventionnel du courant débité par la pile ?
En déduire le sens de déplacement des électrons.
.....
- 2- Préciser le signe de chaque électrode de cette pile.
.....
- 3- À quelle borne de l'ampèremètre, est reliée la borne négative de la pile ?
.....
- 4- Préciser l'électrode au voisinage de laquelle se produit l'oxydation et celle au voisinage de laquelle se produit la réduction ?
.....
- 5- Les concentrations molaires effectives des cations métalliques restent-elles constantes dans les deux compartiments au cours du fonctionnement de la pile ou varient-elles ?
.....

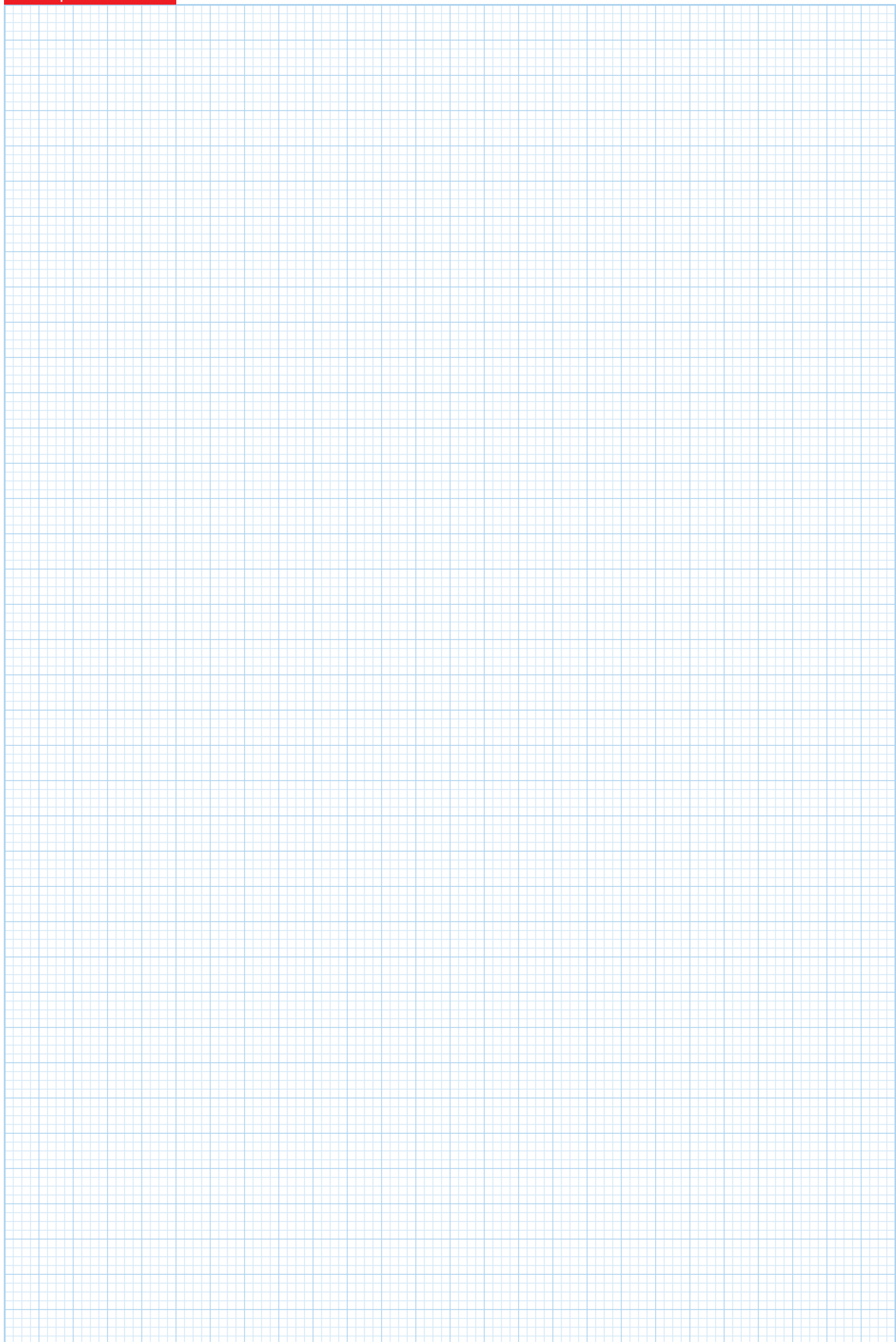
- 6- Proposer le rôle du tube en U appelé pont salin.
.....

Ce qu'il faut savoir

- Les électrons circulent à l'extérieur du générateur de la borne \ominus vers la borne \oplus .
- Une solution est toujours électriquement neutre.

Lexique

- **Électrode** : Cathode ou anode.
- **Imbibé** : Mouillé
- **Perméable** : Laisse passer



L'ESSENTIEL DU COURS

1. Étude qualitative :

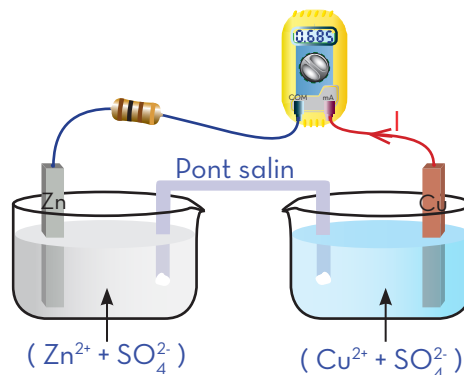
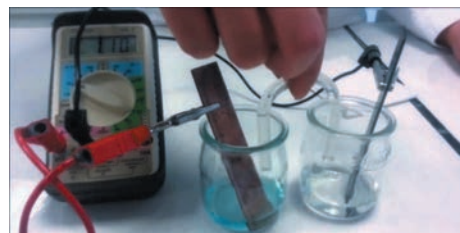
1.1. Description :

Une pile se compose de :

- Deux demi-piles dont chacune est constituée d'un métal trempé dans une solution contenant l'ion métallique correspondant.
- Pont salin, reliant les deux compartiments, sous forme d'un tube en U rempli d'une solution ionique, et qui assure l'électroneutralité des solutions au cours du fonctionnement de la pile.

1.2. Polarité :

- Lorsque la pile fonctionne, elle débite un courant continu circulant de son pôle positif vers son pôle négatif. Les électrons circulent en sens inverse.
- **Pour déterminer les pôles de la pile :**
 - On compare $Q_{r,i}$ avec K : le sens direct est le sens spontané.
 - Le pôle négatif est celui duquel les électrons sortent, il se produit donc à son voisinage une « Réduction », on l'appelle « Cathode »
 - Le pôle positif est celui duquel le courant sort, il se produit donc à son voisinage une « Oxydation », on l'appelle « Anode »



Anode → Oxydation (Voyelles)
Cathode → Réduction (Consonnes)

1.3. Schéma conventionnel : Polarité :

Si la réaction spontanée est tel que : $Red_1 \rightarrow Ox_1$ et $Ox_2 \rightarrow Red_2$, on la traduit par un schéma simplifiée, appelé schéma conventionnel, tel que : $\ominus Red_1 / Ox_1 // Ox_2 / Red_2 \oplus$

2. Étude quantitative :

2.1. Intensité du courant électrique :

On suppose que l'intensité du courant reste constante au cours du fonctionnement de la pile.

$$I = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{n(e^-) \cdot F}{\Delta t} \quad \text{Avec : } F = N_A \cdot e$$

F : appelé Faraday, et désigne la quantité d'électricité transportée par 1 mol d'électrons.

2.2. Tableau d'avancement :

Tous les constituants sont présents.

Équation de réaction		$a Red_1 + b Ox_2 \longrightarrow c Ox_1 + d Red_2$				$n(e^-)$
État	Avancement	Quantités de matières (en mol)				
Initial	0	n_1	n_2	n_3	n_4	0
Final	x_f	$n_1 - a \cdot x_f$	$n_2 - b \cdot x_f$	$n_3 + c \cdot x_f$	$n_4 + d \cdot x_f$	$a \cdot x_f$

α : Nombre d'électrons simplifié lors de l'écriture de la réaction bilan.

a- Avancement final :

$$I = \frac{n(e^-) \cdot F}{\Delta t} = \frac{\alpha \cdot x_f \cdot F}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad x_f = \frac{I \cdot \Delta t}{\alpha \cdot F}$$

b- Avancement maximal :

L'avancement de la réaction atteint sa valeur maximale X_{max} lorsque la pile est usée :

- Soit l'un des réactifs disparaît complètement (constante d'équilibre très grande)
- Soit $Q_r = K$ (constante d'équilibre petite)

c- Variation des quantités de matières :

Exemples :

$$\Delta n(Red_1) = (n_1 - a \cdot x_f) - n_1 = -a \cdot x_f$$

$$\Delta n(Ox_1) = (n_3 + c \cdot x_f) - n_3 = c \cdot x_f$$

1 QCM

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s).

1. Lors de son fonctionnement, une pile:

- a. Évolue par transfert direct d'électrons entre ses réactifs;
- b. évolue vers un état d'équilibre;
- c. Transforme une partie de l'énergie chimique en énergie électrique.

2. Le bilan global de fonctionnement d'une pile:

- a. est l'inverse de celui de la réaction qui se produit par transfert direct d'électrons;
- b. Est prévu par le critère d'évolution.

3. Les porteurs de charge:

- a. Sont des électrons dans les parties métalliques du circuit;
- b. Se déplacent dans le sens du courant à l'extérieur de la pile;
- c. Sont des électrons dans le pont salin ;
- d. Sont des ions dans les solutions contenues dans la pile,

4. La quantité d'électricité mise en jeu par la pile:

a. dépend de l'intensité du courant débité;

b. s'exprime en coulomb.

5. Lorsqu'une pile débite un courant I pendant la durée t , la quantité d'électricité Q qui circule est telle que:

- a. $I = Q \cdot \Delta t$;
- b. $Q = I \cdot \Delta t$;
- c. $I = \frac{Q}{\Delta t}$.

2 Vrai ou Faux

Parmi les affirmations suivantes, corriger celles qui sont inexactes.

1. À l'intérieur d'une pile, les porteurs de charges se déplacent dans le sens du courant.

2. lorsque la pile fonctionne, des réactions d'oxydoréduction se produisent à l'interface électrode-solution,

3. Une pile en fonctionnement est un système à l'équilibre.

4. Le critère d'évolution permet de prévoir le sens de déplacement des porteurs de charges.

5. Le faraday correspond à la charge d'une mole d'électrons.

3 Pont salin

1. Quel est le rôle d'un pont salin dans une pile ?

2. Décrire un pont salin.

3. Comment représente-t-on un pont salin dans le schéma conventionnel d'une pile ?

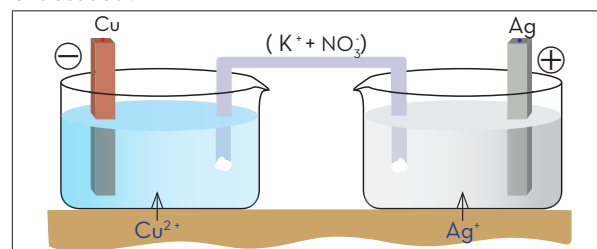
4 Schémas

1. Faire le dessin annoté d'une pile mettant en jeu les couples $\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+}/\text{Cu}(\text{s})$ et $\text{Zn}_{(\text{aq})}^{2+}/\text{Zn}(\text{s})$.

2. Donner le schéma conventionnel correspondant sachant que l'électrode de cuivre en constitue le pôle positif.

5 De la pile au schéma conventionnel

Donner le schéma conventionnel de la pile représentée ci-dessous :



6 Du schéma conventionnel à la pile

Décrire à l'aide d'un dessin la pile de schéma conventionnel: $\ominus \text{Fe}_{(\text{s})} | \text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+} || \text{Pb}_{(\text{aq})}^{2+} | \text{Pb}_{(\text{s})} \oplus$

7 Pile Zinc-Plomb

On considère une pile dont le schéma conventionnel s'écrit : $\ominus \text{Zn}_{(\text{s})} | \text{Zn}_{(\text{aq})}^{2+} || \text{Pb}_{(\text{aq})}^{2+} | \text{Pb}_{(\text{s})} \oplus$
On branche un petit moteur aux bornes de cette pile.

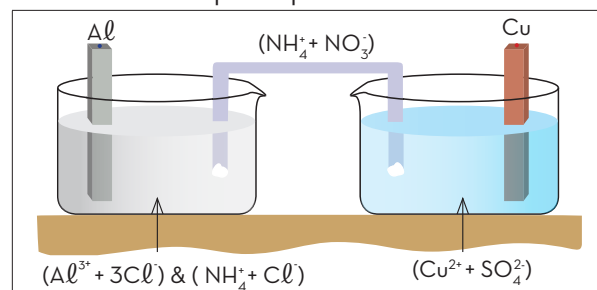
1. Quel est le sens du courant dans le moteur ?

2. En déduire la nature des réactions qui se produisent aux électrodes. Écrire leur équation,

3. Donner l'équation de la réaction qui traduit le fonctionnement global de cette pile et son sens d'évolution spontanée.

8 Pile Aluminium-Cuivre

On considère la pile représentée ci-dessous :



Les volumes de solutions dans les deux demi-piles valent $V_1 = V_2 = 50 \text{ mL}$.

$[\text{Cu}^{2+}]_i = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ et $[\text{Al}^{3+}]_i = 0,010 \text{ mol.L}^{-1}$.

Lorsqu'on branche un voltmètre électronique avec sa borne **com** reliée à l'électrode d'aluminium, on mesure une différence de potentiel $U = +1,6 \text{ V}$.

1. Quelle est la polarité de cette pile ?

2. On relie la pile à un petit moteur électrique. Quel est le sens du courant dans le circuit ? Préciser la nature et le sens de déplacement des porteurs de charges dans ce circuit.

3. Donner les équations des réactions qui se produisent aux électrodes.

4. La pile fonctionne pendant 1,0 h en débitant un courant d'intensité 50 mA.

Quelles sont les variations de la masse d'aluminium métallique et de la concentration en ions Cu^{2+} ?

9 Pile Plomb - Cuivre

Dans un bécher, on introduit 50 mL d'une solution de sulfate de cuivre (II), $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})} + \text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$, à $C = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ et une lame de cuivre bien décapée. Dans un autre bécher, on introduit 50 mL d'une solution de nitrate de plomb (II), $\text{Pb}^{2+}_{(\text{aq})} + 2 \text{NO}_3^{-}_{(\text{aq})}$, de même concentration C et une lame de plomb bien décapée.

On relie ces deux demi-piles par une bande de papier-filtre imbibée de solution concentrée de nitrate d'ammonium, $\text{NH}_4^{+}_{(\text{aq})} + \text{NO}_3^{-}_{(\text{aq})}$.

1. Faire un dessin de la pile ainsi réalisée.
2. On branche un voltmètre électronique aux bornes de cette pile en reliant sa borne **com** à l'électrode de plomb. On lit $U = +0,47 \text{ V}$. Quelle est la f.é.m. de cette pile ?
3. Quelle est la polarité des électrodes ?
4. En déduire les réactions qui se produisent à la surface des électrodes lorsque la pile débite un courant. Donner leur équation.
5. En déduire l'équation de la réaction de fonctionnement de la pile et le sens dans lequel elle se produit.

10 Fonctionnement d'une pile

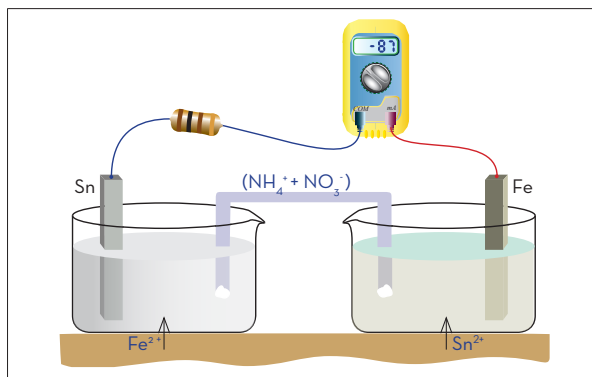
Soit une pile mettant en jeu les couples $\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}$ et $\text{Ag}^{+} / \text{Ag}$. Branchée aux bornes d'un petit moteur, elle fait circuler un courant qui traverse ce moteur en allant de l'électrode d'argent vers l'électrode de fer.

1. Citer deux transformations énergétiques qui ont lieu dans la pile considérée.
2. Quelle est la polarité de cette pile ?
3. Quel est le sens de déplacement des porteurs de charges dans le moteur ?
4. En déduire les réactions qui se produisent à l'interface métal-solution des deux demi-piles.
5. Comment évoluerait spontanément un système obtenu en introduisant de la poudre de fer et une tige d'argent dans une solution contenant des ions fer (II) et argent (I) ?

11 Utilisation d'un ampèremètre

Soit le circuit représenté ci-après :

1. Quel est le sens du courant dans le circuit extérieur à la pile ?
2. Quelle est la polarité de cette pile ?
3. Préciser la nature des porteurs de charge dans les différentes parties de ce circuit et indiquer le sens de leur déplacement.
4. Quelles sont les réactions qui se produisent à la surface des électrodes de cette pile ?



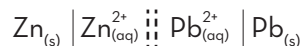
12 Déplacement des ions

On considère une pile obtenue en reliant par un pont salin au nitrate d'ammonium une demi-pile constituée par une lame de cuivre plongeant dans une solution de sulfate de cuivre (II), $\text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$, et une demi-pile constituée par un fil d'argent plongeant dans une solution de nitrate d'argent, $\text{Ag}^{+} + \text{NO}_3^{-}$. Cette pile est branchée aux bornes d'une petite sonnerie. Au bout d'un certain temps, on constate que l'extrémité inférieure du pont salin qui plonge dans la première demi-pile s'est colorée en bleu.

1. Quelle est la couleur des ions cuivre (II) en solution aqueuse ?
2. À quoi est due la coloration observée dans le pont ? Que peut-on en déduire pour le mouvement des ions cuivre (II) dans la pile ?
3. Quel est le sens du courant :
 - a. dans la pile ?
 - b. à l'extérieur de la pile ?
4. Quelle est la réaction qui se produit :
 - a. à l'électrode de cuivre ?
 - b. à l'électrode d'argent ?
5. Donner l'équation de la réaction décrivant le fonctionnement global de la pile.

13 Pile à base de zinc et argent

Soit la pile de schéma conventionnel :



1. Lorsque la pile débite, les réactions qui se produisent aux électrodes ont pour équation :
 - à l'électrode de zinc : $\text{Zn}_{(\text{s})} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^{-}$
 - à l'électrode d'argent : $\text{Ag}^{+}_{(\text{aq})} + \text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Ag}_{(\text{s})}$
 Écrire l'équation de la réaction de fonctionnement de la pile en précisant le sens d'évolution du système.
2. Quel est le mouvement des différents porteurs de charges dans les diverses parties du circuit ?
3. En déduire le sens du courant et la polarité de cette pile.

14 Évolution d'un système

Une pile est obtenue en reliant deux demi-piles par une solution gélifiée de nitrate de potassium, $\text{K}^{+} + \text{NO}_3^{-}$. Une des demi-piles est constituée d'une lame de plomb plongeant dans une solution de nitrate de plomb (II), $\text{Pb}^{2+} + 2\text{NO}_3^{-}$, telle que $[\text{Pb}^{2+}]_i = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$. L'autre est constituée

d'une lame de fer plongeant dans une solution de chlorure de fer (II), $\text{Fe}^{2+} + 2\text{Cl}^-$, telle que : $[\text{Fe}^{2+}]_i = 8,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

On la branche aux bornes d'une résistance. Soit $K = 3,2 \cdot 10^{10}$, la constante d'équilibre associée à la réaction d'équation : $\text{Pb}_{(\text{aq})}^{2+} + \text{Fe}_{(\text{s})} \rightleftharpoons \text{Pb}_{(\text{s})} + \text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$

1. Prévoir le sens d'évolution spontanée du système chimique constituant la pile.

2. Quelle réaction a lieu à chacune des électrodes ?

3. a. Préciser la nature des porteurs de charges dans les différentes parties de ce circuit.

b. Faire un dessin de la pile considérée et y représenter le mouvement des différents porteurs de charges mis en jeu lorsqu'elle débite un courant.

15 Déplacement des porteurs de charges

Une pile est obtenue en reliant deux demi-piles par une solution gélifiée de chlorure de potassium, $\text{K}^+ + \text{Cl}^-$. Une des demi-piles est constituée d'une lame d'étain plongeant dans une solution de chlorure d'étain (II), $\text{Sn}^{2+} + 2\text{Cl}^-$, telle que $[\text{Sn}^{2+}]_i = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

L'autre est constituée d'une lame de nickel plongeant dans une solution de chlorure de nickel (II), $\text{Ni}^{2+} + 2\text{Cl}^-$, telle que $[\text{Ni}^{2+}]_i = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. On la branche aux bornes d'une résistance.

Soit $K = 8,9 \cdot 10^{-4}$, la constante d'équilibre associée à la réaction d'équation : $\text{Ni}_{(\text{aq})}^{2+} + \text{Sn}_{(\text{s})} \rightleftharpoons \text{Ni}_{(\text{s})} + \text{Sn}_{(\text{aq})}^{2+}$

1. Prévoir le sens d'évolution spontanée du système chimique constituant la pile.

2. Quelle réaction a lieu à chacune des électrodes ?

3. Faire un dessin de la pile considérée et y représenter le mouvement des différents porteurs de charges.

4. En déduire la polarité de cette pile et son schéma conventionnel.

16 Pile Fer-Argent

Lors du fonctionnement d'une pile constituée à partir des couples $\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}$ et Ag^+ / Ag , il se produit :

- à l'électrode d'argent, la réduction des ions Ag^+ ;

- à l'électrode de fer, l'oxydation du fer,

Cette pile fonctionne pendant 2,0 h en débitant un courant d'intensité constante $I = 1,2 \text{ mA}$.

1. Quelle quantité d'électricité a circulé dans la pile ?

2. Quelle est la variation de la quantité de fer métallique ?

3. Quelle est la variation de la quantité d'argent métallique ?

17 Pile Plomb-Cuivre

La réaction de fonctionnement d'une pile constituée des couples $\text{Pb}^{2+} / \text{Pb}$ et $\text{Cu}^{2+} / \text{Cu}$ correspond au sens direct de l'équation : $\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+} + \text{Pb}_{(\text{s})} \rightleftharpoons \text{Cu}_{(\text{s})} + \text{Pb}_{(\text{aq})}^{2+}$

Les concentrations initiales en cations métalliques des solutions utilisées, de volume égal à 50,0 mL, sont égales à $C = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Cette pile fonctionne pendant 5,0 h en débitant un courant d'intensité

constante $I = 2,2 \text{ mA}$.

1. Quelle quantité d'électricité a fait circuler la pile ?

2. Quelle est la variation de la quantité de cuivre métallique ? En déduire la variation de masse de l'électrode de cuivre.

3. Quelle est la variation de la concentration en ions Cu^{2+} dans la demi-pile au cuivre ?

18 Pile Nickel-Argent

On associe par un pont salin une demi-pile obtenue en plongeant une plaque de nickel dans 50 mL d'une solution de sulfate de nickel de concentration $C = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et une demi-pile obtenue en plongeant une plaque d'argent dans 50 mL d'une solution de nitrate d'argent de même concentration C . Lors du fonctionnement de cette pile, on observe la réduction des ions Ag^+ à l'électrode d'argent et l'oxydation du nickel métallique en ions Ni^{2+} à l'électrode de nickel. Cette pile fonctionne pendant 3,0 h en débitant un courant d'intensité constante $I = 10 \text{ mA}$.

1. Quelle est la variation de la masse de l'électrode de nickel pendant cette durée ?

2. Quelle est la variation de la concentration en ions Ag^+ dans la demi-pile correspondante pendant cette même durée ?

19 Utilisation du couple $\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$

On considère la pile obtenue en reliant par un pont salin une demi-pile constituée d'une solution de sulfate de cuivre à $C = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ dans laquelle plonge une lame de cuivre bien décapée et une demi-pile constituée par une solution de sulfate de fer (II), $\text{Fe}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$, et de sulfate de fer (III), $2 \text{Fe}^{3+} + 3\text{SO}_4^{2-}$, dans laquelle plonge une lame de platine et telle que $[\text{Fe}^{2+}]_i = [\text{Fe}^{3+}]_i = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Lorsque la pile débite, des réactions se produisent à la surface des électrodes :

- à l'électrode de cuivre, le cuivre est oxydé en ions $\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+}$,

- à l'électrode de platine, les ions $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{3+}$ sont réduits en ions $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$.

1. Écrire l'équation de la réaction de fonctionnement de la pile.

2. Quel est le mouvement des différents porteurs de charges dans le circuit ?

3. En déduire le sens du courant et la polarité de cette pile.

4. a. Donner l'expression de la constante d'équilibre K qui est associée à la réaction de fonctionnement de cette pile.

b. Quelle est la valeur du quotient de réaction initial Q_{ri} du système constituant la pile ? Situer Q_{ri} par rapport à K .

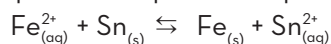
20 Bilan de fonctionnement

On considère une pile fer-étain mettant en jeu les couples $\text{Sn}^{2+} / \text{Sn}$ et $\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}$.

1. Faire un dessin d'une telle pile.

2. Chaque demi-pile contient 100 mL de solution de sulfate du cation métallique correspondant à $C_0 = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$.

La réaction pouvant se produire a pour équation :



Sa constante d'équilibre vaut $K = 6,8 \cdot 10^{-11}$.

Quel est le sens de la transformation qui se produit lorsque la pile débite ?

3. Quelle est la polarité de cette pile ? Donner son schéma conventionnel.

4. Représenter sur le dessin de la question 1., le mouvement des différents porteurs de charges lorsque la pile débite.

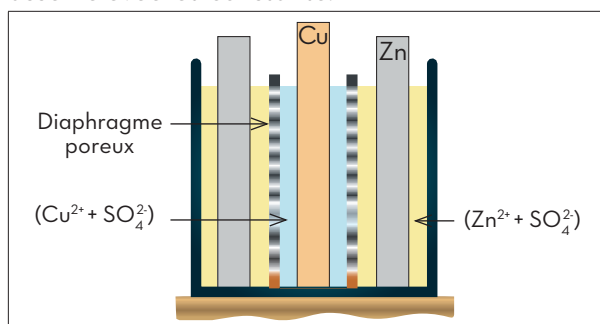
5. la pile débite un courant d'intensité constante $I = 8,5 \text{ mA}$ pendant $5,0 \text{ h}$.

a. Quelle est la quantité d'électricité mise en jeu ?

b. Quelles sont les concentrations en ions étain (II) et fer (II) à la fin de cette expérience ?

21 Pile Daniell

En 1836, J.F. Daniell proposa un modèle de pile, représentée ci-dessous, qui délivrait une tension assez élevée et constante.



1. Quels sont les couples mis en jeu dans cette pile ?

2. L'électrode de cuivre constitue la borne positive de cette pile. Quelles sont les réactions qui ont lieu aux électrodes ?

3. Indiquer la nature et le sens de déplacement des différents porteurs de charges de cette pile lorsqu'elle débite un courant dans une résistance. Quel est le rôle de la paroi poreuse ?

4. Comment est définie la capacité d'une pile ? Pourquoi doit-on utiliser une solution concentrée de sulfate de cuivre (II) si on veut que la capacité de cette pile soit importante ? La solution de sulfate de zinc (II) doit-elle aussi être concentrée ?

5. Quelle est la concentration minimale que doit avoir la solution de sulfate de cuivre(II), de volume $V = 250 \text{ mL}$, pour que cette pile puisse débiter pendant 100 h un courant d'intensité constante égale à 25 mA ?

22 Pile Zinc-Air

Le dioxygène de l'air peut jouer le rôle d'oxydant dans certaines piles utilisées dans des appareils auditifs. Une telle pile est constituée d'une plaque de zinc plongeant dans une solution de chlorure

d'ammonium, $\text{NH}_4^+ + \text{Cl}^-$, solution reliée par une jonction électrolytique à une solution de chlorure d'ammonium contenant des grains de charbon actif dans laquelle plonge une électrode de graphite. Lorsqu'elle fonctionne, il se produit :

- à l'électrode de zinc, l'oxydation du zinc ;
- à l'électrode de graphite, la réduction du dioxygène en eau.

1. Écrire les équations des réactions qui se produisent aux électrodes.

2. Quelle est la polarité de cette pile ?

3. Quel est le rôle de la solution de chlorure d'ammonium ?

4. Quel est le volume d'air nécessaire pour que la pile débite une quantité d'électricité égale à 50°C ?

Donnée : L'air est constitué de 4 volumes de diazote pour un volume de dioxygène et $V_m(\text{gaz}) = 24 \text{ L.mol}^{-1}$.

23 Pile à combustible

Les piles à combustibles utilisées dans la navette spatiale mettent en jeu la réaction entre le dioxygène et le dihydrogène ; les réactions aux électrodes ont pour équation :

- à l'électrode 1 : $1/2 \cdot \text{O}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2 \text{HO}_{(\text{aq})}^-$

- à l'électrode 2 : $\text{H}_{2(\text{g})} + 2\text{HO}_{(\text{aq})}^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$

1. Quelle est la polarité de cette pile ?

2. La tension de fonctionnement vaut $0,87 \text{ V}$ pour une intensité $I = 200 \text{ A}$. Les piles sont groupées en série de 32 pour former des modules.

a. Quel est l'intérêt de ce branchement en série ?

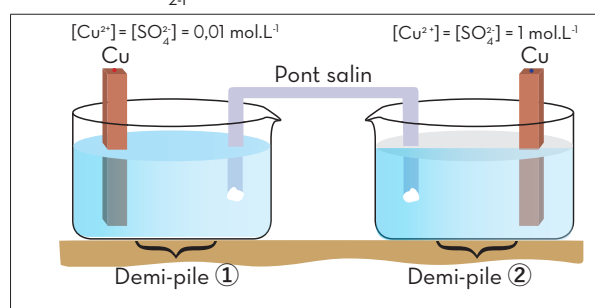
b. Quelle sont les masses de dihydrogène et de dioxygène consommées par une de ces piles pendant une durée de 192 h ?

24 Pile de concentration

On réalise la pile schématisée ci-après.

On branche un voltmètre électronique entre ses bornes en reliant sa borne COM à l'électrode 1.

On mesure $U_{2,1} = 0,06 \text{ V}$.



1. Quelle est la f.é.m. de cette pile ?

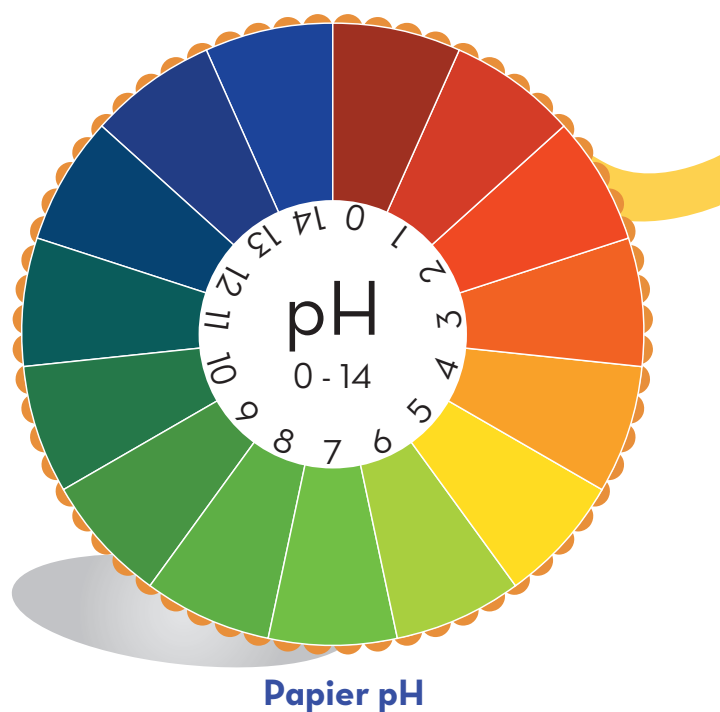
2. Quelles sont les réactions qui se produisent aux électrodes ?

3. a. La pile ainsi réalisée est-elle à l'équilibre ?

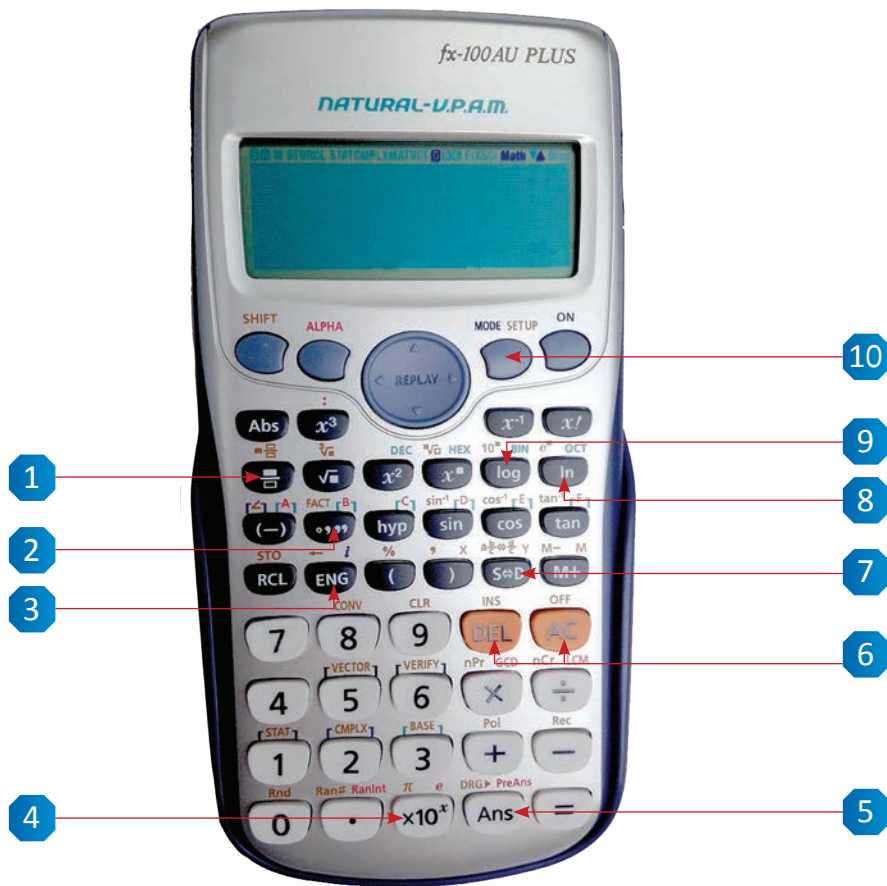
b. Sinon, vers quelle situation va-t-elle évoluer ? Donner l'expression du quotient de réaction correspondant au système relatif à cette pile. Quelle sera sa valeur lorsque la pile ne débitera plus de courant en circuit fermé ?

Tableau de quelques indicateurs colorés

L'indicateur	Couleur de l'acide	Zone de virage	Couleur de la base
Violet cristallisé	Vert	0 - 2	Violet
Bleu de thymol	Rouge	1,2 - 2,6	Jaune
Tropéoline OO	Rouge	1,3 - 3	Jaune
Bleu de bromophénol	Jaune	2,7 - 4,5	Bleu violacé
Hélianthine	Rose	3,1 - 4,4	Jaune
Vert de bromocrésol	Jaune	3,7 - 5,5	Bleu
Rouge de méthyle	Rouge	4,2 - 6,2	Jaune
Rouge de bromophénol	Jaune	5,1 - 6,9	Rouge
Tourne-sol	Rouge	5 - 8	Bleu
Bleu de bromothymol	Jaune	6,2 - 7,6	Bleu
Rouge de phénol	Jaune	6,8 - 8,4	Rouge
Rouge neutre	Rouge	6,8 - 8	Jaune
Rouge de crésol	Jaune	7,3 - 8,6	Rouge
Bleu de thymol	Jaune	8 - 9,5	Bleu
Phénolphtaléine	Incolore	8,3 - 10	Violet
Thymolphtaléine	Incolore	9,3 - 10,5	Bleu
Alizarine	Rouge	11 - 12,4	Bleu
Jaune d'alizarine	Jaune	10,2 - 12	Lilas
Vert de malachite (1 ^{er} vir)	Jaune	0,1 - 2,0	Vert
Vert de malachite (2 ^{ème} vir)	Vert	11,5 - 13,2	Incolore
Violet de méthyl	Jaune	0,0 - 1,6	Bleu violacé



Calculatrice scientifique



1 : Pour écrire une fraction. Utiliser les touches de direction pour basculer entre numérateur et dénominateur.

2 : Pour manipuler une durée en : heure, minute, seconde.

Exemples :

- 2 h 35 min 25 s : $2 \text{ } \frac{\circ}{\circ} \text{ } 35 \text{ } \frac{\circ}{\circ} \text{ } 25 \text{ } \frac{\circ}{\circ} \text{ } =$.

On obtient la valeur en heures.

- 9225 s : $0 \text{ } \frac{\circ}{\circ} \text{ } 0 \text{ } \frac{\circ}{\circ} \text{ } 9225 \text{ } \frac{\circ}{\circ} \text{ } =$ On obtient la valeur en h.min.s.

3 : Pour approcher le résultat de l'écriture scientifique.

4 : Puissance de 10.

Exemple :

Pour écrire $2,5 \cdot 10^{-5}$, on écrit : $2 \cdot 5 \times 10^{\circ} (-) 5$.

L'intérêt c'est que le nombre et la puissance de 10 sont reliés.

Appuyer : (SHIFT) $\times 10^x$ pour obtenir : π .

5 : Pour afficher le dernier résultat de calcul. Même si on éteint la calculatrice, on peut récupérer le dernier résultat.

6 : **AC** Effacer tout,

DEL Effacer le dernier nombre écrit.

7 : Pour convertir une fraction en nombre décimal et inversement.

8 : Logarithme népérien.

9 : Logarithme décimal.

10 : MODE/SETUP.

► Appuyer (SHIFT MODE) pour choisir l'une des applications affichées (Table 1):

1: MthIO	2: LineIO
3: Deg	4: Rad
5: Gra	6: Fix
7: Sci	8: Norm

Table 1

Exemple :

DEG (3), RAD(4), écriture scientifique (7), Revenir en mode normal (8)

► Appuyer directement (MODE) pour choisir l'une des applications affichées (Table 2):

1: COMP	2: CMLPX
3: STAT	4: BASE-N
5: EQN	6: MATRIX
7: TABLE	8: VECTOR

Table 2

Exemple :

Résoudre une équation (5) :

• Équation du 2nd degré (3)

(Table 3) : Entrer par ordre les valeurs de : a, b et c, en appuyant après chaque nombre sur $=$, et pour obtenir les résultats sur $=$ puis $=$.

• Un système d'équations à 2 inconnues (1) (Table 3) : Entrer par ordre a, b et c pour les deux équations, en appuyant après chaque nombre sur $=$, et pour obtenir les résultats sur $=$ puis $=$.

1: $ax+by=Cn$
2: $ax+by+CnZ=dn$
3: $aX^2+bX+c=0$
4: $aX^3+bX^2+cX+d=0$

Table 3

Tableau périodique des éléments chimiques

Numéro atomique		Symbole		Masse atomique		Nom		État																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
I A	II A	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII B	IB	IIB																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
1 H Hydrogène 1,008	2 He Hélium 4,00	3 Li Lithium 6,94	4 Be Béryllium 9,01	5 B Bore 10,811	6 C Carbone 12,011	7 N Azote 14,007	8 O Oxygène 15,999	9 F Fluore 19,00	10 Ne Néon 20,18	11 Na Sodium 22,99	12 Mg Magnésium 24,31	13 Al Aluminium 26,98	14 Si Silicium 28,09	15 P Phosphore 30,974	16 S Soufre 32,065	17 Cl Chlore 35,45	18 Ar Argon 39,95	19 K Potassium 39,10	20 Ca Calcium 40,08	21 Sc Scandium 44,96	22 Ti Titane 47,87	23 V Vanadium 50,94	24 Cr Chrome 52,00	25 Mn Manganèse 54,94	26 Fe Fer 55,85	27 Co Cobalt 58,93	28 Ni Nickel 58,69	29 Cu Cuivre 63,55	30 Zn Zinc 65,41	31 Ga Gallium 69,72	32 Ge Germanium 72,64	33 As Arsenic 74,92	34 Se Sélénium 78,96	35 Br Brome 79,90	36 Kr Krypton 83,80	37 Rb Rubidium 85,47	38 Sr Strontium 87,62	39 Y Itrium 88,91	40 Zr Zirconium 91,22	41 Nb Niobium 92,91	42 Mo Molybdène 95,94	43 Tc Technétium (98)	44 Ru Ruthénium 101,07	45 Rh Rhodium 102,91	46 Pd Palladium 106,42	47 Ag Argent 107,87	48 Cd Cadmium 112,41	49 In Indium 114,82	50 Sn Étain 118,71	51 Sb Antimoine 121,76	52 Te Tellure 127,60	53 I Iode 126,96	54 Xe Xénon 131,29	55 Cs Césium 132,91	56 Ba Baryum 137,33	57 La Lanthane 138,91	58 Ce Cérium 140,12	59 Pr Praséodyme 140,91	60 Nd Néodyme 144,24	61 Pm Prométhium (145)	62 Sm Samarium 150,36	63 Eu Europium 151,96	64 Gd Gadolinium 157,25	65 Tb Terbium 158,93	66 Dy Dysprosium 162,50	67 Ho Holmium 164,93	68 Er Erbium 167,26	69 Tm Thulium 168,93	70 Yb Ytterbium 173,04	71 Lu Lutetium 174,97	72 Hf Hafnium 178,49	73 Ta Tantale 180,95	74 W Tungstène 183,84	75 Re Rhénium 186,21	76 Os Osmium 190,23	77 Ir Iridium 192,22	78 Pt Platine 195,08	79 Au Or 196,97	80 Hg Mercure 200,59	81 Tl Thallium 204,38	82 Pb Plomb 207,2	83 Bi Bismuth 208,98	84 Po Polonium (209)	85 At Astate (210)	86 Rn Radon (222)	87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 Ac Actinium (227)	90 Th Thorium 232,04	91 Pa Protactinium 231,04	92 U Uranium 238,03	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Américium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkélium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendélévium (258)	102 No Nobélium (259)	103 Lr Lawrencium (262)	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (266)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (277)	109 Mt Meitnérium (268)	110 Ds Darmstadtium (281)	111 Rg Roentgenium (272)	112 Uub Ununbium (285)	113 Uut Ununtrium (284)	114 Uuq Ununquadium (289)	115 Uup Ununpentium (288)	116 Uuh Ununhexium (292)	117 Uus Ununseptium (294)	118 Uuo Ununoctium (294)	119 Uuh	120 Uuo	121 Uue	122 Uuq	123 Uup	124 Uuh	125 Uuo	126 Uue	127 Uuq	128 Uup	129 Uuh	130 Uuo	131 Uue	132 Uuq	133 Uup	134 Uuh	135 Uuo	136 Uue	137 Uuq	138 Uup	139 Uuh	140 Uuo	141 Uue	142 Uuq	143 Uup	144 Uuh	145 Uuo	146 Uue	147 Uuq	148 Uup	149 Uuh	150 Uuo	151 Uue	152 Uuq	153 Uup	154 Uuh	155 Uuo	156 Uue	157 Uuq	158 Uup	159 Uuh	160 Uuo	161 Uue	162 Uuq	163 Uup	164 Uuh	165 Uuo	166 Uue	167 Uuq	168 Uup	169 Uuh	170 Uuo	171 Uue	172 Uuq	173 Uup	174 Uuh	175 Uuo	176 Uue	177 Uuq	178 Uup	179 Uuh	180 Uuo	181 Uue	182 Uuq	183 Uup	184 Uuh	185 Uuo	186 Uue	187 Uuq	188 Uup	189 Uuh	190 Uuo	191 Uue	192 Uuq	193 Uup	194 Uuh	195 Uuo	196 Uue	197 Uuq	198 Uup	199 Uuh	200 Uuo	201 Uue	202 Uuq	203 Uup	204 Uuh	205 Uuo	206 Uue	207 Uuq	208 Uup	209 Uuh	210 Uuo	211 Uue	212 Uuq	213 Uup	214 Uuh	215 Uuo	216 Uue	217 Uuq	218 Uup	219 Uuh	220 Uuo	221 Uue	222 Uuq	223 Uup	224 Uuh	225 Uuo	226 Uue	227 Uuq	228 Uup	229 Uuh	230 Uuo	231 Uue	232 Uuq	233 Uup	234 Uuh	235 Uuo	236 Uue	237 Uuq	238 Uup	239 Uuh	240 Uuo	241 Uue	242 Uuq	243 Uup	244 Uuh	245 Uuo	246 Uue	247 Uuq	248 Uup	249 Uuh	250 Uuo	251 Uue	252 Uuq	253 Uup	254 Uuh	255 Uuo	256 Uue	257 Uuq	258 Uup	259 Uuh	260 Uuo	261 Uue	262 Uuq	263 Uup	264 Uuh	265 Uuo	266 Uue	267 Uuq	268 Uup	269 Uuh	270 Uuo	271 Uue	272 Uuq	273 Uup	274 Uuh	275 Uuo	276 Uue	277 Uuq	278 Uup	279 Uuh	280 Uuo	281 Uue	282 Uuq	283 Uup	284 Uuh	285 Uuo	286 Uue	287 Uuq	288 Uup	289 Uuh	290 Uuo	291 Uue	292 Uuq	293 Uup	294 Uuh	295 Uuo	296 Uue	297 Uuq	298 Uup	299 Uuh	300 Uuo	301 Uue	302 Uuq	303 Uup	304 Uuh	305 Uuo	306 Uue	307 Uuq	308 Uup	309 Uuh	310 Uuo	311 Uue	312 Uuq	313 Uup	314 Uuh	315 Uuo	316 Uue	317 Uuq	318 Uup	319 Uuh	320 Uuo	321 Uue	322 Uuq	323 Uup	324 Uuh	325 Uuo	326 Uue	327 Uuq	328 Uup	329 Uuh	330 Uuo	331 Uue	332 Uuq	333 Uup	334 Uuh	335 Uuo	336 Uue	337 Uuq	338 Uup	339 Uuh	340 Uuo	341 Uue	342 Uuq	343 Uup	344 Uuh	345 Uuo	346 Uue	347 Uuq	348 Uup	349 Uuh	350 Uuo	351 Uue	352 Uuq	353 Uup	354 Uuh	355 Uuo	356 Uue	357 Uuq	358 Uup	359 Uuh	360 Uuo	361 Uue	362 Uuq	363 Uup	364 Uuh	365 Uuo	366 Uue	367 Uuq	368 Uup	369 Uuh	370 Uuo	371 Uue	372 Uuq	373 Uup	374 Uuh	375 Uuo	376 Uue	377 Uuq	378 Uup	379 Uuh	380 Uuo	381 Uue	382 Uuq	383 Uup	384 Uuh	385 Uuo	386 Uue	387 Uuq	388 Uup	389 Uuh	390 Uuo	391 Uue	392 Uuq	393 Uup	394 Uuh	395 Uuo	396 Uue	397 Uuq	398 Uup	399 Uuh	400 Uuo	401 Uue	402 Uuq	403 Uup	404 Uuh	405 Uuo	406 Uue	407 Uuq	408 Uup	409 Uuh	410 Uuo	411 Uue	412 Uuq	413 Uup	414 Uuh	415 Uuo	416 Uue	417 Uuq	418 Uup	419 Uuh	420 Uuo	421 Uue	422 Uuq	423 Uup	424 Uuh	425 Uuo	426 Uue	427 Uuq	428 Uup	429 Uuh	430 Uuo	431 Uue	432 Uuq	433 Uup	434 Uuh	435 Uuo	436 Uue	437 Uuq	438 Uup	439 Uuh	440 Uuo	441 Uue	442 Uuq	443 Uup	444 Uuh	445 Uuo	446 Uue	447 Uuq	448 Uup	449 Uuh	450 Uuo	451 Uue	452 Uuq	453 Uup	454 Uuh	455 Uuo	456 Uue	457 Uuq	458 Uup	459 Uuh	460 Uuo	461 Uue	462 Uuq	463 Uup	464 Uuh	465 Uuo	466 Uue	467 Uuq	468 Uup	469 Uuh	470 Uuo	471 Uue	472 Uuq	473 Uup	474 Uuh	475 Uuo	476 Uue	477 Uuq	478 Uup	479 Uuh	480 Uuo	481 Uue	482 Uuq	483 Uup	484 Uuh	485 Uuo	486 Uue	487 Uuq	488 Uup	489 Uuh	490 Uuo	491 Uue	492 Uuq	493 Uup	494 Uuh	495 Uuo	496 Uue	497 Uuq	498 Uup	499 Uuh	500 Uuo

C Solide
O Gaz
Hg Liquide

Métaux
Métaux de transition
Métalloïdes
Non métaux
Autres

Numéro atomique **6**
 Symbole **C**
 Nom **Carbone**
 Masse atomique **12,011**

« Le photocopillage, c'est l'usage abusif et collectif de la photocopie sans autorisation des auteurs et des éditeurs.

Largement répandu dans les établissements scolaires, le photocopillage menace l'avenir du livre, car il met en danger son équilibre économique. Il prive les auteurs d'une équitable rémunération.

En dehors de l'usage privé du copiste, toute reproduction totale ou partielle de cet ouvrage est interdite. »

