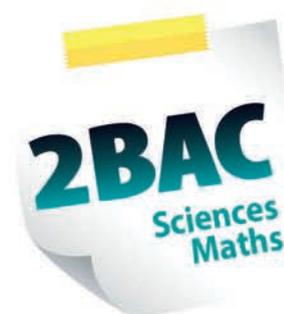


# ETINCELLE CHIMIE



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

# Conductivités molaires ioniques de quelques ions

## 1. Cations :

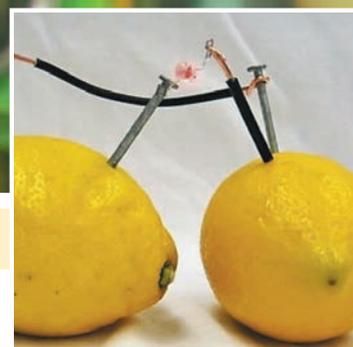
Nom et formule		$\lambda^\circ$ (mS.m <sup>2</sup> .mol <sup>-1</sup> )
Ammonium	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	7,345
Argent	Ag <sup>+</sup>	6,19
Baryum	Ba <sup>2+</sup>	12,73
Calcium	Ca <sup>2+</sup>	11,9
Cuivre(II)	Cu <sup>2+</sup>	10,76
Fer(II)	Fe <sup>2+</sup>	10,8
Fer(III)	Fe <sup>3+</sup>	20,4
Aluminium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

## 2. Anions :

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

# Tableau des pKa de quelques couples (Acide/Base)

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

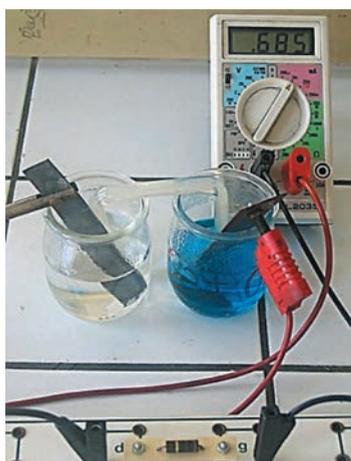
Au moment où le développement du télégraphe faisait apparaître la nécessité de sources de courant sûres et constants, John Daniell inventait une pile portant son nom

► **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 ?  
.....

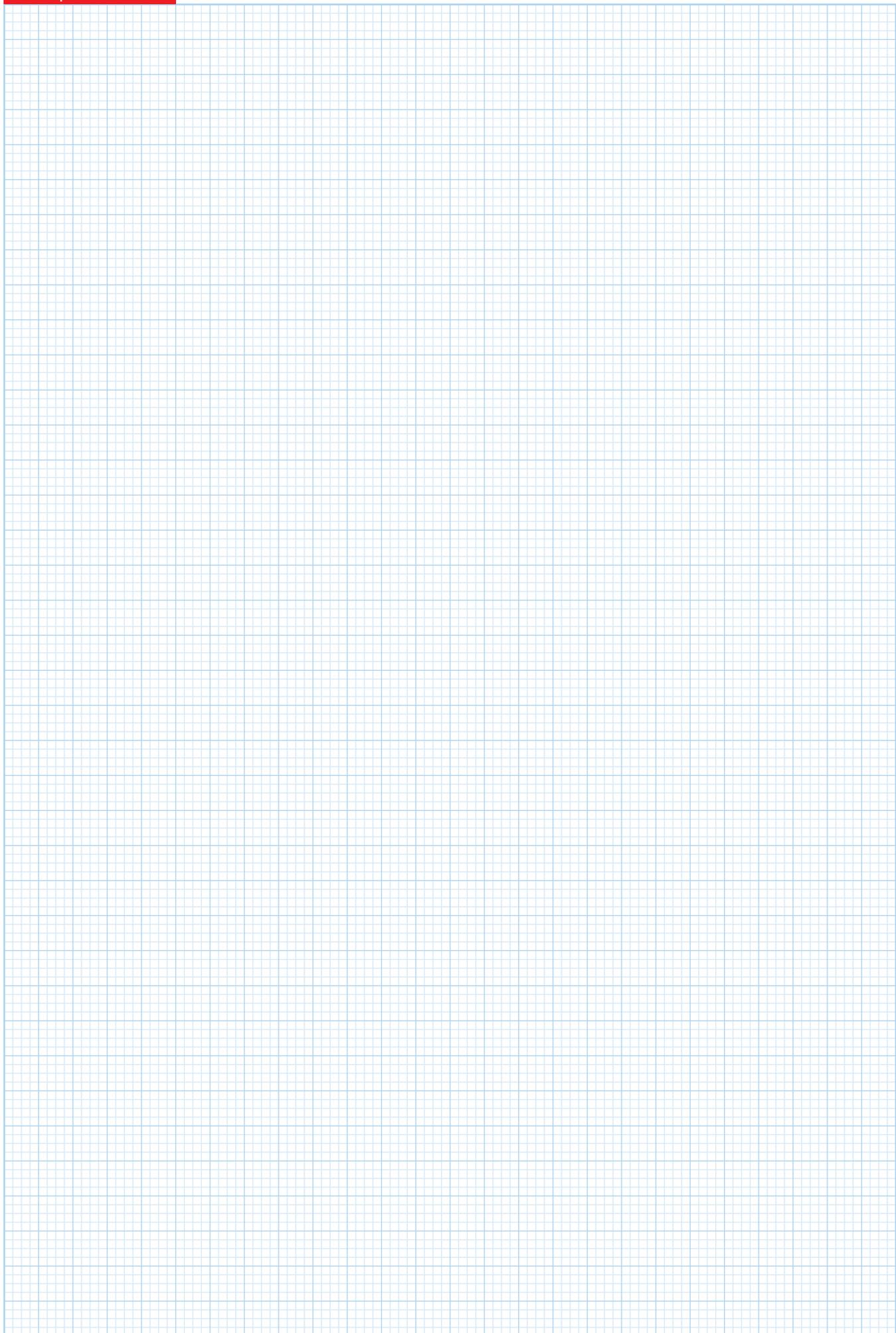
- 6- Proposer le rôle du tube en U appelé pont salin.  
.....

### 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 :

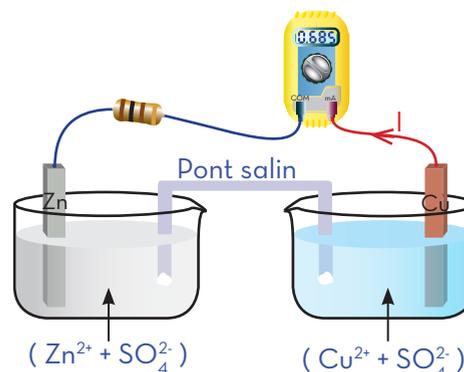
### 1.1. Description :

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	$x_f$	$n_1 - a \cdot x_f$	$n_2 - b \cdot x_f$	$n_3 + c \cdot x_f$	$n_4 + d \cdot x_f$	$a \cdot x_f$

$\alpha$  : 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 :**

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

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

# EXERCICES D'APPLICATION

## 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 ?

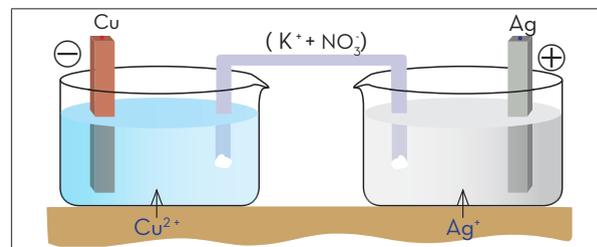
## 4 Schémas

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.

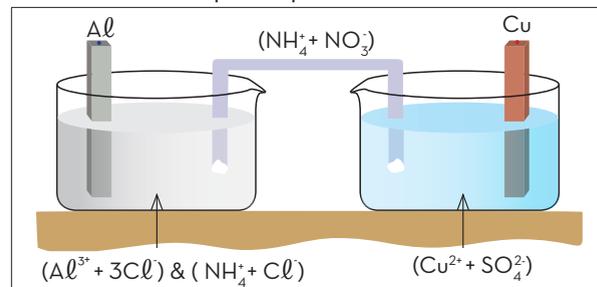
1. Quel est le sens du courant dans le moteur ?

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  $\text{Cu}^{2+}$  ?

### 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

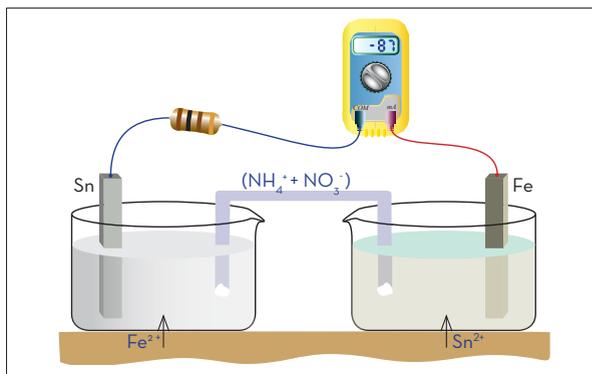
Soit une pile mettant en jeu les couples  $\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}$  et  $\text{Ag}^{+} / \text{Ag}$ . Branchée aux bornes d'un petit moteur, elle fait circuler un courant qui traverse ce moteur en allant de l'électrode d'argent vers l'électrode de fer.

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  $\text{Ag}^+ / \text{Ag}$ , il se produit :

- à l'électrode d'argent, la réduction des ions  $\text{Ag}^+$  ;

- 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  $\text{Cu}^{2+}$  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  $\text{Ag}^+$  à l'électrode d'argent et l'oxydation du nickel métallique en ions  $\text{Ni}^{2+}$  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  $\text{Ag}^+$  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  $K$ .

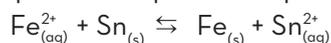
### 20 Bilan de fonctionnement

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.

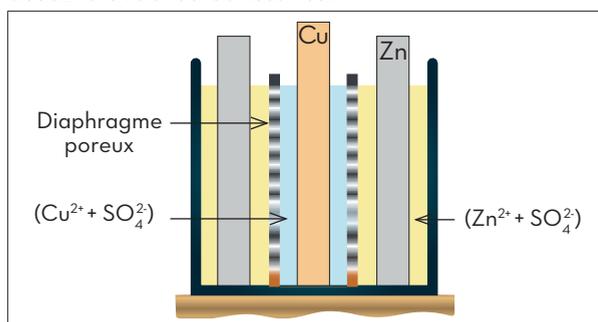
5. la pile débite un courant d'intensité constante  $I = 8,5 \text{ mA}$  pendant 5,0 h.

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 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 ?

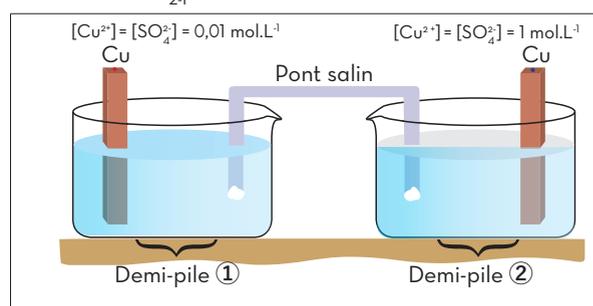
b. Quelle sont les masses de dihydrogène et de dioxygène consommées par une de ces piles pendant une durée de 192 h ?

### 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 ?

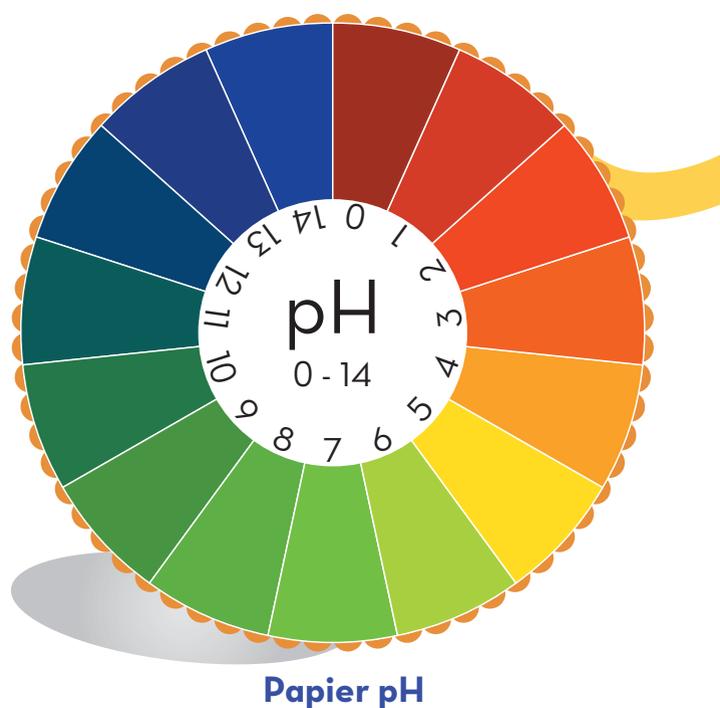
2. Quelles sont les réactions qui se produisent aux électrodes ?

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

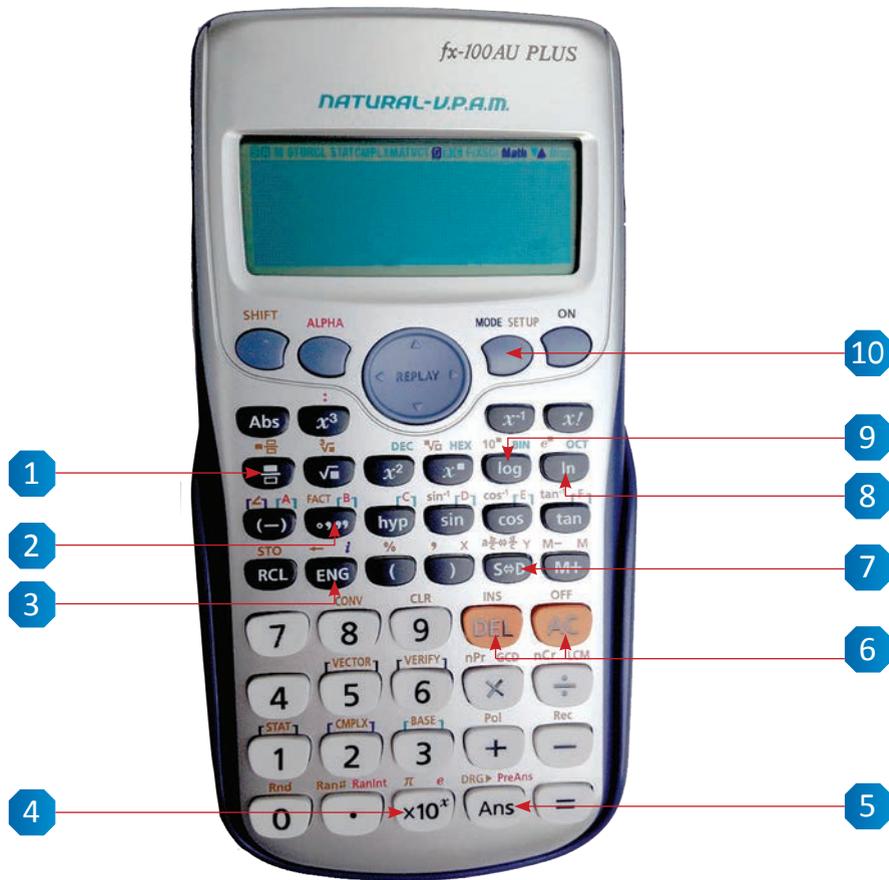
b. Sinon, vers quelle situation va-t-elle évoluer ? Donner l'expression du quotient de réaction correspondant au système relatif à cette pile. Quelle sera sa valeur lorsque la pile ne débitera plus de courant en circuit fermé ?

# 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 <sup>er</sup> vir)	Jaune	0,1 - 2,0	Vert
Vert de malachite (2 <sup>ème</sup> 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 :  $2 \text{ [h]} 35 \text{ [m]} 25 \text{ [s]} =$

On obtient la valeur en heures.

- 9225 s :  $0 \text{ [h]} 0 \text{ [m]} 9225 \text{ [s]} =$  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 :  $2 \cdot 5 \text{ [x10]} \text{ [-]} 5$ .

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

Appuyer : (SHIFT)  $\text{[x10]}$  pour obtenir :  $\pi$ .

**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: Cmplx
3: STAT	4: BASE-N
5: EQN	6: MATRIX
7: TABLE	8: VECTOR

Table 2

**Exemple :**

Résoudre une équation (5) :

• Équation du 2<sup>nd</sup> 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		Métaux		Métaux de transition		Liquide	
6		C		12,011		Carbone		Solide		Gaz		Liquide	
Métaux		Métaux de transition		Métalloïdes		Non métaux		Autres		Solide		Gaz	
Métaux		Métaux de transition		Métalloïdes		Non métaux		Autres		Solide		Gaz	
1	1	1	H	1,008	1	A	Hydrogène	1	1	1	1	1	1
2	2	2	Li	6,94	3	II A	Lithium	2	2	2	2	2	2
3	3	3	Be	9,01	4	II A	Béryllium	3	3	3	3	3	3
4	4	4	Mg	24,31	12	II A	Magnésium	4	4	4	4	4	4
5	5	5	Na	22,99	11	IA	Sodium	5	5	5	5	5	5
6	6	6	K	39,10	19	IA	Potassium	6	6	6	6	6	6
7	7	7	Rb	85,47	37	IA	Rubidium	7	7	7	7	7	7
8	8	8	Cs	132,91	55	IA	Césium	8	8	8	8	8	8
9	9	9	Fr	(223)	87	IA	Francium	9	9	9	9	9	9
10	10	10	Ca	40,08	20	II A	Calcium	10	10	10	10	10	10
11	11	11	Sr	87,62	38	II A	Strontium	11	11	11	11	11	11
12	12	12	Ba	137,33	56	II A	Baryum	12	12	12	12	12	12
13	13	13	Ra	(226)	88	II A	Radium	13	13	13	13	13	13
14	14	14	Sc	44,96	21	III B	Scandium	14	14	14	14	14	14
15	15	15	Ti	47,87	22	IV B	Titane	15	15	15	15	15	15
16	16	16	V	50,94	23	V B	Vanadium	16	16	16	16	16	16
17	17	17	Cr	52,00	24	VI B	Chrome	17	17	17	17	17	17
18	18	18	Mn	54,94	25	VII B	Manganèse	18	18	18	18	18	18
19	19	19	Fe	55,85	26	VIII B	Fer	19	19	19	19	19	19
20	20	20	Co	58,93	27	VIII B	Cobalt	20	20	20	20	20	20
21	21	21	Ni	58,69	28	VIII B	Nickel	21	21	21	21	21	21
22	22	22	Cu	63,55	29	IB	Cuivre	22	22	22	22	22	22
23	23	23	Zn	65,41	30	IIB	Zinc	23	23	23	23	23	23
24	24	24	Ga	69,72	31	IIIB	Gallium	24	24	24	24	24	24
25	25	25	Ge	72,64	32	IVB	Germanium	25	25	25	25	25	25
26	26	26	As	74,92	33	V B	Arsenic	26	26	26	26	26	26
27	27	27	Se	78,96	34	VI B	Sélénium	27	27	27	27	27	27
28	28	28	Br	79,90	35	VII B	Brome	28	28	28	28	28	28
29	29	29	Kr	83,80	36	VIII B	Krypton	29	29	29	29	29	29
30	30	30	Xe	131,29	54	VIII B	Xénon	30	30	30	30	30	30
31	31	31	Rn	(222)	86	VIII B	Radon	31	31	31	31	31	31
32	32	32	Al	26,98	13	IIIA	Aluminium	32	32	32	32	32	32
33	33	33	Si	28,09	14	IVA	Silicium	33	33	33	33	33	33
34	34	34	P	30,974	15	VA	Phosphore	34	34	34	34	34	34
35	35	35	S	32,065	16	VIA	Soufre	35	35	35	35	35	35
36	36	36	Cl	35,45	17	VII A	Chlore	36	36	36	36	36	36
37	37	37	Ar	39,95	18	VIII A	Argon	37	37	37	37	37	37
38	38	38	K	39,10	19	IA	Potassium	38	38	38	38	38	38
39	39	39	Rb	85,47	37	IA	Rubidium	39	39	39	39	39	39
40	40	40	Cs	132,91	55	IA	Césium	40	40	40	40	40	40
41	41	41	Fr	(223)	87	IA	Francium	41	41	41	41	41	41
42	42	42	Ca	40,08	20	II A	Calcium	42	42	42	42	42	42
43	43	43	Sr	87,62	38	II A	Strontium	43	43	43	43	43	43
44	44	44	Ba	137,33	56	II A	Baryum	44	44	44	44	44	44
45	45	45	Ra	(226)	88	II A	Radium	45	45	45	45	45	45
46	46	46	Sc	44,96	21	III B	Scandium	46	46	46	46	46	46
47	47	47	Ti	47,87	22	IV B	Titane	47	47	47	47	47	47
48	48	48	V	50,94	23	V B	Vanadium	48	48	48	48	48	48
49	49	49	Cr	52,00	24	VI B	Chrome	49	49	49	49	49	49
50	50	50	Mn	54,94	25	VII B	Manganèse	50	50	50	50	50	50
51	51	51	Fe	55,85	26	VIII B	Fer	51	51	51	51	51	51
52	52	52	Co	58,93	27	VIII B	Cobalt	52	52	52	52	52	52
53	53	53	Ni	58,69	28	VIII B	Nickel	53	53	53	53	53	53
54	54	54	Cu	63,55	29	IB	Cuivre	54	54	54	54	54	54
55	55	55	Zn	65,41	30	IIB	Zinc	55	55	55	55	55	55
56	56	56	Ga	69,72	31	IIIB	Gallium	56	56	56	56	56	56
57	57	57	Ge	72,64	32	IVB	Germanium	57	57	57	57	57	57
58	58	58	As	74,92	33	V B	Arsenic	58	58	58	58	58	58
59	59	59	Se	78,96	34	VI B	Sélénium	59	59	59	59	59	59
60	60	60	Br	79,90	35	VII B	Brome	60	60	60	60	60	60
61	61	61	Kr	83,80	36	VIII B	Krypton	61	61	61	61	61	61
62	62	62	Xe	131,29	54	VIII B	Xénon	62	62	62	62	62	62
63	63	63	Rn	(222)	86	VIII B	Radon	63	63	63	63	63	63
64	64	64	Al	26,98	13	IIIA	Aluminium	64	64	64	64	64	64
65	65	65	Si	28,09	14	IVA	Silicium	65	65	65	65	65	65
66	66	66	P	30,974	15	VA	Phosphore	66	66	66	66	66	66
67	67	67	S	32,065	16	VIA	Soufre	67	67	67	67	67	67
68	68	68	Cl	35,45	17	VII A	Chlore	68	68	68	68	68	68
69	69	69	Ar	39,95	18	VIII A	Argon	69	69	69	69	69	69
70	70	70	K	39,10	19	IA	Potassium	70	70	70	70	70	70
71	71	71	Rb	85,47	37	IA	Rubidium	71	71	71	71	71	71
72	72	72	Cs	132,91	55	IA	Césium	72	72	72	72	72	72
73	73	73	Fr	(223)	87	IA	Francium	73	73	73	73	73	73
74	74	74	Ca	40,08	20	II A	Calcium	74	74	74	74	74	74
75	75	75	Sr	87,62	38	II A	Strontium	75	75	75	75	75	75
76	76	76	Ba	137,33	56	II A	Baryum	76	76	76	76	76	76
77	77	77	Ra	(226)	88	II A	Radium	77	77	77	77	77	77
78	78	78	Sc	44,96	21	III B	Scandium	78	78	78	78	78	78
79	79	79	Ti	47,87	22	IV B	Titane	79	79	79	79	79	79
80	80	80	V	50,94	23	V B	Vanadium	80	80	80	80	80	80
81	81	81	Cr	52,00	24	VI B	Chrome	81	81	81	81	81	81
82	82	82	Mn	54,94	25	VII B	Manganèse	82	82	82	82	82	82
83	83	83	Fe	55,85	26	VIII B	Fer	83	83	83	83	83	83
84	84	84	Co	58,93	27	VIII B	Cobalt	84	84	84	84	84	84
85	85	85	Ni	58,69	28	VIII B	Nickel	85	85	85	85	85	85
86	86	86	Cu	63,55	29	IB	Cuivre	86	86	86	86	86	86
87	87	87	Zn	65,41	30	IIB	Zinc	87	87	87	87	87	87
88	88	88	Ga	69,72	31	IIIB	Gallium	88	88	88	88	88	88
89	89	89	Ge	72,64	32	IVB	Germanium	89	89	89	89	89	89
90	90	90	As	74,92	33	V B	Arsenic	90	90	90	90	90	90
91	91	91	Se	78,96	34	VI B	Sélénium	91	91	91	91	91	91
92	92	92	Br	79,90	35	VII B	Brome	92	92	92	92	92	92
93	93	93	Kr	83,80	36	VIII B	Krypton	93	93	93	93	93	93
94	94	94	Xe	131,29	54	VIII B	Xénon	94	94	94	94	94	94
95	95	95	Rn	(222)	86	VIII B	Radon	95	95	95	95	95	95
96	96	96	Al	26,98	13	IIIA	Aluminium	96	96	96	96	96	96
97	97	97	Si	28,09	14	IVA	Silicium	97	97	97	97	97	97
98	98	98	P	30,974	15	VA	Phosphore	98	98	98	98	98	98
99	99	99	S	32,065	16	VIA	Soufre	99	99	99	99	99	99
100	100	100	Cl	35,45	17	VII A	Chlore	100	100	100	100	100	100
101	101	101	Ar	39,95	18	VIII A	Argon	101	101	101	101	101	101
102	102	102	K	39,10	19	IA	Potassium	102	102	102	102	102	102
103	103	103	Rb	85,47	37	IA	Rubidium	103	103	103	103	103	103
104	104	104	Cs	132,91	55	IA	Césium	104	104	104	104	104	104
105	105	105	Fr	(223)	87	IA	Francium	105	105	105	105	105	105
106	106	106	Ca	40,08	20	II A	Calcium	106	106	106	106	106	106
107	107	107	Sr	87,62	38	II A	Strontium	107	107	107	107	107	107
108	108	108	Ba	137,33	56	II A	Baryum	108	108	108	108	108	108
109	109	109	Ra	(226)	88	II A	Radium	109	109	109	109	109	109
110	110	110	Sc	44,96	21	III B	Scandium	110	110	110	110	110	110
111	111	111	Ti	47,87	22	IV B	Titane	111	111	111			

« 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. »

