

### I. L'ELABORATION D'UN METAL

#### 1. Etude documentaire

## 1 Des minerais métalliques

La plupart des métaux n'existent pas à l'état natif dans la nature : ils sont obtenus à partir de minerais (**document 1**), par diverses transformations. Ces étapes sont complexes et nombreuses ; seule l'hydrométallurgie sera étudiée. Les minerais métalliques ont des compositions complexes ; il faut tenir compte de la présence de diverses impuretés lors des traitements métallurgiques. Le **tableau 2** regroupe quelques exemples de minerais à partir desquels sont extraits les métaux les plus utilisés.



1 Mine de cuivre à ciel ouvert (Arizona).

## 2 Traitement mécanique du minerai sur le site d'extraction : exemple du cuivre

Avant de subir une attaque acide qui permet d'extraire le cuivre sous forme ionique, le minerai riche en cuivre est broyé jusqu'à obtenir des particules de diamètre inférieur à 75  $\mu\text{m}$ .

## 3 Extraction par hydrométallurgie : exemple du zinc

Lors d'une première étape, les minerais sulfurés de zinc subissent un grillage qui permet d'éliminer une grande partie du soufre. La calcine ainsi obtenue est ensuite traitée en solution aqueuse suivant quatre étapes hydrométallurgiques.

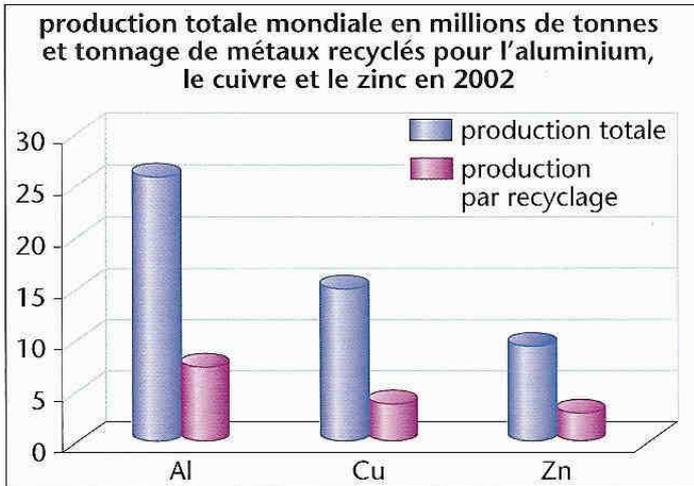
- La **lixiviation**, c'est-à-dire le traitement acide en présence d'un oxydant ( $\text{O}_2$  ou  $\text{KMnO}_4$ ) de la calcine qui contient entre autres des oxydes de zinc, de fer, de cuivre et de plomb et la gangue. 75 % du zinc est solubilisé dans l'eau ainsi que les ions  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$  et le cuivre ( $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ ).
- L'**élimination des ions  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$** , à pH 5 en présence de sulfate d'ammonium ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) ; les ions  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$  sont éliminés sous forme de jarosite (49 000 tonnes de déchets non valorisables pour 100 000 tonnes de zinc extrait).
- La **précipitation**, c'est-à-dire la réduction des ions métalliques sous forme de la poudre de zinc ; après filtration, la solution possède une teneur en impuretés métalliques de l'ordre de 0,5  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ .
- La **purification par électrolyse**, où l'anode est en plomb et la cathode en aluminium sur laquelle se dépose le zinc pur à 99,95 %. L'intensité du courant peut atteindre plus de 100 000 A et la production jusqu'à trois tonnes par jour.

métal	minerais	composition du minerai	premiers pays producteurs (production en 2001, en milliers de tonnes)
zinc (Zn)	blende	4 à 20 % en zinc sous forme $\text{ZnS}$ ; autres éléments (Pb, Fe, Cu)	Chine : 1 900
cuivre (Cu)	chalcoppyrite, malachite	moins de 2 % de cuivre ; sous forme de dérivés sulfurés ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) ou oxydés ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )	Chili : 4 600
aluminium (Al)	bauxite	de 40 à 60 % d'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) associée à l'oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) rouge	Australie : 14 000 (1998)
fer (Fe)	hématite, magnétite	oxydes de fer $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ou $\text{Fe}_2\text{O}_3$ associés à d'autres oxydes métalliques	Brésil : 276 000 (2004)
titane (Ti)	ilémène	30 à 70 % d'oxyde de titane ( $\text{TiO}_2$ ) associé aux oxydes de fer	Australie : 1 200

2 Exemples de minerais dont sont extraits quelques métaux courants.

## 4 Recyclage : exemple de l'aluminium

Du fait de l'appauvrissement des gisements et du coût énergétique important des métaux de première fusion, le recyclage des matériaux s'est développé. La production par recyclage prend une part importante de la production totale (figure 3) à un moindre coût.



3 Proportion de la production par recyclage par rapport à la production totale.

L'acier est recyclé à hauteur de 41 % ; chaque année plus de 300 millions de tonnes d'acier sont ainsi broyées puis refondues en vue d'être réutilisées.

## 5 Traitement des métaux : exemple de l'anodisation de l'aluminium

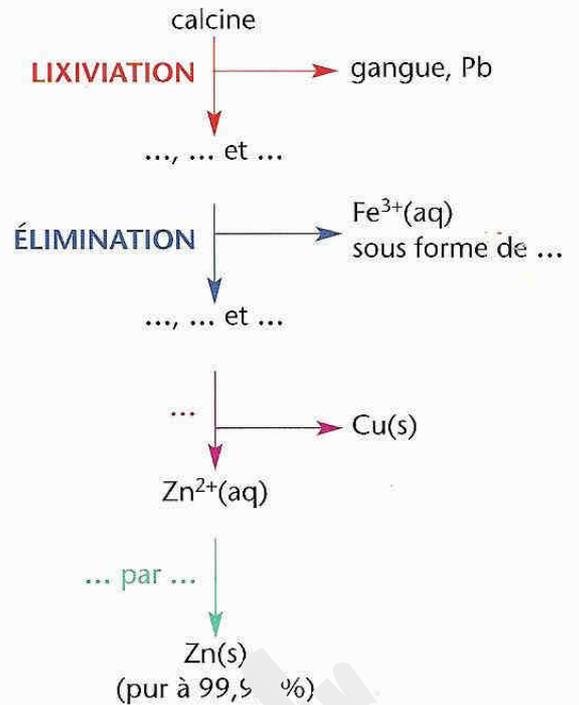
L'aluminium est un métal très réducteur et donc sujet à la corrosion. En présence de dioxygène, il se recouvre naturellement d'une couche protectrice d'alumine,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , de très faible épaisseur. Afin de le protéger plus durablement, l'aluminium est anodisé, c'est-à-dire qu'une couche d'alumine d'environ  $20 \mu\text{m}$  d'épaisseur est formée à sa surface par électrolyse. Pour rendre l'objet décoratif, cette couche d'alumine est ensuite colorée (document 4). La couche d'alumine est inerte chimiquement ; c'est pourquoi l'aluminium est largement utilisé dans les emballages.



4 Façade de l'Institut du Monde arabe et ses fameux « moucharabieh » recouverts d'alumine colorée.

## 2. Questions

1. Compléter l'organigramme ci-dessous résumant les quatre étapes de l'extraction hydrométallurgique du zinc.



2. Calculer le coût énergétique de la production d'une tonne de zinc par électrolyse sachant que la tension  $U$  aux bornes d'électrolyse est égale à  $3,5 \text{ V}$ .

3. L'aluminium se produit à partir de la bauxite qui contient environ 50 % en masse d'alumine. L'alumine est électrolysée avec une anode en carbone consommée tous les trois mois, sous une tension  $U = 4,0 \text{ V}$  et une intensité  $i = 2,5 \times 10^5 \text{ A}$ . En une durée  $\Delta t = 48 \text{ h}$ , on peut ainsi produire  $m_{\text{Al}} = 4,5 \text{ tonnes}$  d'aluminium. Calculer le coût énergétique en  $\text{kJ}$  de l'électrolyse d'une tonne d'aluminium.

4. La température de fusion de l'aluminium est peu élevée ( $900 \text{ }^\circ\text{C}$ ). On estime qu'une bouteille en aluminium (poisson non alcoolisée type soda) est recyclée quatre fois par an. Expliquer pourquoi il est important de trier sélectivement les emballages et de valoriser le recyclage de l'aluminium.

### Ce qu'il faut retenir

- ▶ Les étapes métallurgiques d'obtention d'un métal à partir de minerais sont nombreuses et complexes.
  - ▶ Pour purifier, protéger, embellir et récupérer, on a recours à des électrolyses.
- Le recyclage est aujourd'hui généralisé à toutes sortes de matériaux dont les métaux.

## II. L'EXEMPLE DE LA METALLURGIE DE L'ALUMINIUM

L'élaboration de l'aluminium, à partir de la bauxite, s'effectue en deux étapes distinctes :

### 1. Extraction de l'alumine

La première étape est l'extraction de l'alumine  $Al_2O_3$  des autres composés constituant le minerai appelé bauxite

Remarque sur la composition massique de la bauxite :

- alumine ou oxyde d'aluminium : 40 à 60 %
- oxyde de fer (rouille) : 10 à 20% ... d'où sa couleur rougeâtre.

Industriellement, on utilise le procédé Bayer mis au point en 1887. La manipulation proposée ci-dessous illustre la méthode mise en oeuvre dans l'industrie.

**exp1**

Objectifs : - Déterminer les domaines de prédominances des éléments fer et aluminium en fonction du pH du milieu  
- Appréhender la méthode de séparation par précipitation fractionnée

#### a. Précipitation des ions $Al^{3+}_{(aq)}$

- Verser environ 2 mL de solution de sulfate d'aluminium (1,0 mol/L) dans un T.A.E.
- Ajouter goutte à goutte une solution de soude (1,0 mol/L) pour observer 2 changements successifs.
- ☒ Noter vos observations.
- ☒ Ecrire les 2 équations des réactions observées successivement sachant qu'il se forme d'abord un précipité  $Al(OH)_3$  puis un ion complexe  $[Al(OH)_4]^-$ .
- ☒ Sur l'axe gradué en pH ci-dessous, indiquer les domaines de prédominance des espèces  $Al^{3+}$ ,  $Al(OH)_3$  et  $[Al(OH)_4]^-$ .

#### b. Précipitation des ions $Fe^{3+}_{(aq)}$

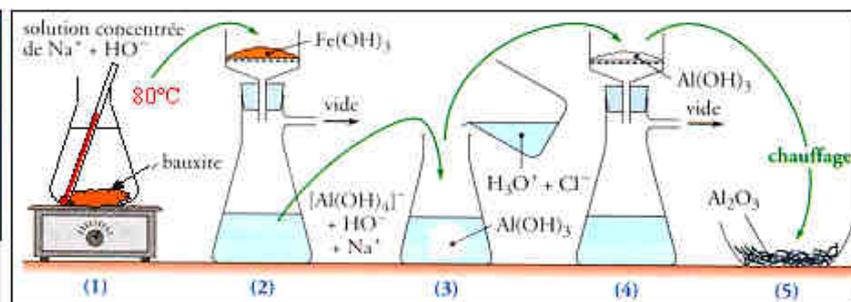
- Verser environ 2 mL de solution de chlorure de fer III (1,0 mol/L) dans un T.A.E.
- Ajouter goutte à goutte une solution de soude (1,0 mol/L).
- ☒ Observe-t-on 2 changements successifs comme précédemment ?
- ☒ Ecrire l'équation de la réaction observée sachant qu'il se forme un précipité  $Fe(OH)_3$ .
- ☒ Sur l'axe gradué en pH ci-dessous, indiquer les domaines de prédominance des espèces  $Fe^{3+}$  et  $Fe(OH)_3$ .



2.1. A partir des résultats précédents, expliquer le protocole expérimental suivant pour séparer les éléments fer et aluminium de la bauxite.



Broyage de la bauxite



### 2. Electrolyse de l'alumine

La seconde étape consiste à réaliser l'électrolyse de l'alumine en sel fondu qui donne le métal aluminium.

**Exercice**

Cette électrolyse s'effectue dans des cuves que traverse un courant continu à haute intensité (de l'ordre de  $10^5$  A sous une tension d'environ 4 V). Les cuves sont revêtues de blocs de carbone qui forment la cathode. Ces cuves contiennent un électrolyte en fusion qui dissout l'alumine  $Al_2O_{3(s)}$  qui y est apportée. Les anodes, constituées de carbone très pur, plongent dans l'électrolyte.

Grâce à l'électrolyse, sous une température d'environ  $950\text{ }^\circ\text{C}$ , l'alumine est transformée en aluminium et en dioxygène. L'aluminium se dépose au fond de la cuve tandis que le dioxygène réagit avec le carbone des anodes pour se dégager sous forme de  $CO_2$ . Cette combustion du carbone oblige à remplacer régulièrement les anodes.

### Données:

- La réaction de dissolution de l'alumine peut s'écrire sous la forme :  $Al_2O_{3(s)} = 2 Al^{3+} + 3 O^{2-}$
- On admet que, dans cette phase, l'électrolyte, non aqueux, est constitué des ions suivants  $Al^{3+}$  et  $O^{2-}$ .
- Couples mis en jeu lors de l'électrolyse:  $Al^{3+} / Al_{(s)}$  et  $O_{2(g)} / O^{2-}$
- La réaction d'électrolyse de l'alumine s'écrit:  $4 Al^{3+} + 6 O^{2-} + 3 C_{(s)} = 3 CO_{2(g)} + 4 Al_{(s)}$
- $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  et  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Élément	Al	O	H
Masses molaires atomiques ( $g \cdot mol^{-1}$ )	27,0	16,0	1,00

- 2.2. D'après le texte quelle est l'action de l'électrolyte sur l'alumine introduite ?
- 2.3. Faire un schéma simplifié du circuit électrique montrant la cuve, la position et le nom des électrodes, l'électrolyte, le générateur, en précisant la polarité de ses bornes.
- 2.4. On cherche la durée nécessaire  $\Delta t$  pour préparer, par électrolyse, une masse  $m$  d'aluminium, l'intensité du courant  $I$  étant constante.
- 2.4.1. Donner l'expression littérale de la quantité d'électrons nécessaire à la production de la masse  $m$  d'aluminium.
- 2.4.2. Donner l'expression littérale de la quantité d'électricité  $Q$  consommée par l'électrolyseur jusqu'à son état final.
- 2.4.3. La masse  $m$  d'aluminium fabriqué est  $m = 1,08$  tonnes et l'intensité du courant  $I$  de  $1,0 \times 10^5 \text{ A}$ .  
En déduire l'ordre de grandeur de la durée  $\Delta t$  en heures de l'électrolyse.

### 3. Conditionnement et utilisation de l'aluminium

Après avoir visionné l'extrait de « C'est pas sorcier », répondre aux questions suivantes :

- 2.5. Citez quelques propriétés de l'aluminium.
- 2.6. Quelle opération réalise-t-on pour consolider l'aluminium ?  
Quelles en sont les applications industrielles ?
- 2.7. Quel est l'intérêt principal d'utiliser des canettes en aluminium pour le conditionnement des liquides ?

Remarque : dans une canette, le produit à consommer n'est pas en contact direct avec l'aluminium. En effet, lors du processus de fabrication de la canette, un revêtement alimentaire spécialement étudié est vaporisé sur les parois intérieures de la boîte afin d'isoler le liquide contenu du métal.

