

## LC 11 : Du minerai au métal

**Elements imposés possibles :** Diagrammes d'Ellingham, Purification électrochimique, Fer, cuivre, nickel, or, aluminium, zinc

### Biblio

- Métallurgie 2003 (Philibert)
- Chimie industrielle (Perrin)
- TI m2231 Pyrométallurgie
- TI m2235 Hydrométallurgie
- Extractive metallurgy of Nickel, Cobalt and platinum group
- Or ici

# Contents

<b>1</b>	<b>Zinc</b>	<b>3</b>
1.1	Pyrométallurgie de Zinc . . . . .	4
1.1.1	Présentation du procédé. . . . .	4
1.1.2	Diagramme d'Ellingham du carbone . . . . .	4
1.1.3	Diagramme d'Ellingham du Zinc . . . . .	4
1.2	Hydrométallurgie du zinc . . . . .	4
1.3	Electrométallurgie du zinc . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Cuivre</b>	<b>6</b>
2.1	Extraction du minerai . . . . .	6
2.1.1	Production mondiale . . . . .	6
2.1.2	Propriété du minerai . . . . .	6
2.2	Elaboration du metal à partir du minerai . . . . .	7
2.2.1	Voie Pyrométallurgique . . . . .	7
2.2.2	Voie hydrométallurgique . . . . .	7
2.2.3	Raffinage . . . . .	7
2.3	Recyclage . . . . .	7

# Chapter 1

## Zinc

Niveau : L3

Prérequis :

- Thermodynamique classique (enthalpie-entropie, cycle de Hess) L2
- Electrochimie (Réaction rédox, courbe I/E, Electrolyse)
- Cristallographie (L1)

Difficultés :

- Beaucoup de notions transverses à connaître (thermo, électrochimie)
- Assimiler un nouveau vocabulaire spécifique (hydrométallurgie, pyrométallurgie, calcine, gangue)
- Leçon très descriptive Quoi savoir retenir ?

Séquence pédagogique

- TP Lixiviation du cuivre
- TD Etude sur les hauts fourneaux et la métallurgie du Fer

Objectifs :

- Comprendre la différence entre les procédés et citer leurs avantages, inconvénients, comprendre les diagrammes d'Ellingham.

Biblio : BUP 867 (1) : Hydrométallurgie Technique Ingénieur (métallurgie du Zinc) BUP 770 (une vie de zinc) Manip Porteu p 286

Choix d'un exemple complet : métallurgie du zinc pour pouvoir aborder toutes les notions nécessaires sur les diagrammes d'ellingham.

## Introduction

Aujourd'hui on parle du zinc. *image de lingots de zinc* On obtient en métallurgie de lingots de zinc en essayant de l'avoir le plus pur possible. 13 Millions de tonnes en 2020 et utilisées en galvanisation notamment. On fabrique du laiton également. Dans les piles salines, il est également présent donc ajd, comment le produire.

On a différents procédés à distinguer : pyrométallurgie et hydrométallurgie.

En pyro : on a une voie de traitement "sèche" En hydro : une voie "humide" : on dissous ici le minerai pour l'extraire et le purifier.

On y ajoute un troisième procédé : électrométallurgie qui peut être incorporé dans l'hydro.

Zn car toutes les méthodes sont utilisées.

Le minerai de Zn contient entre 4 et 20 % de Zn , souvent sous la forme sulfure (type blende) et on le sépare du Fe, Pb, Cu, Cd. On essaye également de le séparer de la **gangue**  $\text{CaCO}_3$  et de la dolomite  $\text{MgCO}_3$ .

## 1.1 Pyrométallurgie de Zinc

### 1.1.1 Présentation du procédé.

On chauffe jusqu'à  $T = 1000\text{--}1200\text{ °C}$  On obtient :  $\text{ZnS}_s + \frac{3}{2}\text{O}_{2g} \longrightarrow \text{ZnO} + \text{SO}_{2g}$  Or,  $\text{SO}_2$  est un gaz dangereux.

On chauffe autant car il a une réaction parasite :  $\text{ZnS} + \text{SO}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \longrightarrow \text{ZnSO}_4$  à la température de 600 à 900 degrés

Une fois qu'on a l'oxyde, on peut chauffer pour éliminer  $\text{O}_2$  :  $2\text{ZnO} \longrightarrow 2\text{Zn} + \text{O}_2$

### 1.1.2 Diagramme d'Ellingham du carbone

On commence par définir les couples en jeu et les relations les reliant:

$\text{C}/\text{CO}(g) : 2\text{C} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO}$   $\text{CO}(g)/\text{CO}_2(g) : 2\text{CO} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO}_2$   $\text{C}/\text{CO}_2 : \text{C} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_2$

On se place dans l'approximation d'Ellingham :  $\Delta_r H^0$  et  $\Delta_r S^0$  ne dépendent pas de la température.

On se place à une mole de  $\text{O}_2$  échangé.

$$\Delta_r H^0(\text{C}/\text{CO}) = 2\Delta_f H(\text{CO}) - 2\Delta_f H(\text{C}) - \Delta_f H(\text{O}_2) = -220,5 \text{ kJ mol}^{-1}$$

On fait de même pour l'entropie et l'énergie de Gibbs.

On trace alors l'énergie de Gibbs en  $\text{kJ mol}^{-1}$  en fonction de la température en Kelvin.

On observe qu'à la température inférieure à 980 K, on a dismutation :  $2\text{CO} = \text{C} + \text{CO}_2$  l'équilibre de Boudouard.

### 1.1.3 Diagramme d'Ellingham du Zinc

On reproduit la procédure et on voit qu'il a plusieurs températures de changement d'état. On superpose les deux diagrammes pour quantifier le processus de **carbothermie**.

à 1210K, on a croisement entre le Zn et le couple CO/C. à partir de cette température, on a alors réduction de l'oxyde de zinc selon la réaction :  $\text{ZnO} + \text{C} = \text{Zn} + \text{CO}$ . ATTENTION, on sait que cette réaction est favorisée thermodynamiquement, mais elle peut être trop lente pour se produire.

à partir de 1320K, on a  $\text{ZnO} + \text{CO} = \text{Zn} + \text{CO}_2$

Ici, on n'a pas encore pris en compte les autres métaux : l'oxyde de plomb va être réduit en priorité car il est plus oxydant que l'oxyde de zinc.

On peut ensuite jouer sur la liquation ou la distillation.

## 1.2 Hydrométallurgie du zinc

Une fois qu'on a le minerai (calcine) par mélange d'oxydes de zinc, de fer et de cuivre. On va la mettre en solution = lixiviation.

La meilleure des façons et de les dissoudre dans de l'acide sulfurique. Pour obtenir des sulfates de métal. Ce qui n'a pas pu être dissous est filtré : c'est la ferrite.

On utilise le procédé à la Jarosite en ajoutant du sulfate d'ammonium. On procède ensuite à la Cémentation qui permet d'obtenir du ciment.

## 1.3 Electrométallurgie du zinc

### Conclusion

### Question :

- Pourquoi indiquer 298K si ils ne dépendent pas de la température ? Car  $\Delta_f H$  est mesurée à 298K. Condition nécessaire pour que la condition soit valide ?
- Quelles sont les choses mises en place dans la leçon pour répondre aux difficultés.
- Découverte des métaux : lesquels sont découverts en premier ? Métaux nobles : Ag, Cu, Au. Métal noble : non oxydé par l'air donc le Cu n'en est pas un mais c'est le premier car il est natif. Les derniers métaux trouvés sont les Al car potentiel d'oxydo réduction très bas.

- Parmi les métaux du tableaux, citer quelques-uns qui sont important actuellement. Colonne Ni Pd, Pt, Co, Rh, Ir car catalyseurs.

# Chapter 2

## Cuivre

Niveau : L3

Prérequis :

- Thermodynamique classique (enthalpie-entropie, cycle de Hess) L2
- Electrochimie (Réaction rédox, courbe I/E, Electrolyse)
- Cristallographie (L1)

Difficultés :

- Beaucoup de notions transverses à connaître (thermo, électrochimie)
- Assimiler un nouveau vocabulaire spécifique (hydrométallurgie, pyrométallurgie, calcine, gangue)
- Leçon très descriptive Quoi savoir retenir ?

Séquence pédagogique

- TP Lixiviation du cuivre
- TD Etude sur les hauts fourneaux et la métallurgie du Fer

Objectifs :

- Comprendre la différence entre les procédés et citer leurs avantages, inconvénients, comprendre les diagrammes d'Ellingham.

Biblio : TI m2242 hydrométallurgie du cuivre, *Extractive metallurgy of copper* Schlessinger

## Introduction

Propriétés du cuivre et utilisation

### 2.1 Extraction du minerai

#### 2.1.1 Production mondiale

Pays d'origine *Schlessinger chap2*, carte p18  
vidéo Martin

#### 2.1.2 Propriété du minerai

Pas à l'état natif, espèce, 2%, enrichissement par flottation à 30%

## 2.2 Elaboration du metal à partir du minerai

### 2.2.1 Voie Pyrométallurgique

à partir des sulfures, 80% de la production mondiale : explications dans Philibert Chap 4 §3.2.2

### 2.2.2 Voie hydrométallurgique

### 2.2.3 Raffinage

## 2.3 Recyclage

## Conclusion

Ouverture sur l'aspect environnemental : on a ici production de gaz soufrés, qu'on doit limiter (Chap 12 du Schlessinger, lien vers la production de l'acide sulfurique)