

Fiche 1

Métallurgie

Ressources utilisées

- Wikipédia pour la partie historique
- Voir les BUP, les « Une vie de [élément] »
- L'élémentarium pour des données par élément
- T& D PC/PC* GRÉCIAS
- (TI pyrométallurgie du cuivre : M2241)

Remarque Pour le zinc spécifiquement : BUP :

- Tracé du diagramme d'Ellingham du zinc, MESNIL (données thermodynamiques sur le zinc !)
- Peuvent être utiles les données suivantes sur le carbone :

Composé	C(s)	CO(g)	CO ₂ (g)
$\Delta_f H^\ominus$ (kJ mol ⁻¹)	0	-110,5	-393,5
S_m^\ominus (J K ⁻¹ mol ⁻¹)	5,7	197,6	213,6

- Une vie de Zinc, VIGNES

Éléments imposés envisageables

Hydrométallurgie du zinc ; extraction de [élément] ; élaboration de [élément : fer, aluminium] ; ... ; purification de métaux ;

Tutorat avec V. WIECZNY

Il est ressorti du tutorat qu'il n'était pas évident de parler « du laboratoire au procédé » dans ce cas, mais qu'on pouvait comprendre « du laboratoire » comme « des concepts » ou « de la théorie ».

Dans tous les cas, si la leçon se place dans ce thème, c'est qu'il faut insister sur et maintenir au plus l'aspect industriel : les tonnages, les échelles, quels sont les réacteurs, d'où viennent les réactifs/les roches...

Un plan que l'on peut proposer en faisant appel à des titres très vagues pour extraire des généralités de l'exemple (qui peut être le zinc, l'aluminium) est :

1. Extraction du minerai
2. Métallurgie [pyro ou hydro]
3. Affinage et purification [vers le cahier des charges...]

Pour l'hydrométallurgie, voir aussi ce qui se fait dans le MIOMANDRE, partie « Électrosynthèse de métaux ».

Introduction

Pédagogie Leçon qui se place soit en fin de L2 dans un cursus qui tend très vite vers la chimie industrielle ou inorganique, soit en L3. Nécessite du recul sur les classes de composés (métaux, oxydes...) et sur l'utilisation, en particulier dans cette leçon, de diagrammes thermodynamiques (ELLINGHAM, E-pH)... En particulier, le cours suivrait une « introduction » un peu forte sur l'obtention des métaux à partir des minerais : donc l'existence de nombreuses techniques en particulier pour séparer avant d'élaborer un métal (et le vocabulaire allant avec). Cela permettra dans ce cours de se concentrer sur les étapes réellement associée à la métallurgie dans la production des métaux.

On pourrait s'attacher à suivre un fil rouge : la métallurgie du zinc, que l'on aborderait au travers de deux domaines de la métallurgie, la pyrométallurgie et l'hydrométallurgie.

Les pré-requis pour une telle leçon serait, pour une leçon L3 :

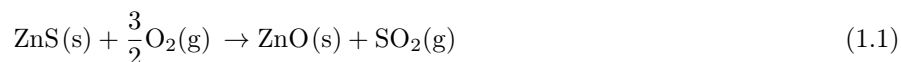
- Oxydes métalliques, diagrammes d'ELLINGHAM (tracé, diagramme du carbone)
- Électrochimie, diagramme E-pH (thermodynamique), courbes i-E
- Du minerai au métal

Les difficultés résident particulièrement dans la lecture des diagrammes thermodynamiques : on fera au mieux pour les lire avec les élèves, possiblement en reproduisant au tableau ou à la flexcam des versions simplifiées...

La métallurgie est la science des matériaux qui étudie les métaux, leurs élaborations, leurs propriétés, leurs traitement.

Cette définition, large, laisse bien sûr place à plusieurs domaines quand il s'agit d'obtenir, à partir d'un minerai, le métal souhaité. Le zinc, dont la production mondiale dépasse en 2018 les 12 000 millions de tonnes (!), est obtenu principalement à partir de minerais comme la blende. On trouve le zinc sous la forme de blende (ZnS) contenue elle-même dans une gangue constituée de calcite (CaCO₃) et de dolomie (MgCO₃). Le minerai de zinc, constitué de la blende ET de la gangue, contient jusqu'à 20% de zinc ; le sulfure de zinc, ZnS, est aussi associé à d'autres sulfures : ce qui amènera à réfléchir aussi à leur séparation.

Comme vu dans le cours précédent [on projetterait], la blende est enrichie par flottation (la gangue précipite, le sulfure de zinc remonte en surface) puis suit une opération de grillage de la blende :



1.1 Pyrométallurgie du zinc

Représente 10% de la production de zinc. L'objectif de cette partie est alors d'étudier la réduction de la calcine ZnO.

1.1.1 Aspects thermodynamiques

L'étude thermodynamique se fait à l'aide des diagrammes d'ELLINGHAM.

Remarque Rappel : tracé de l'enthalpie libre standard de la réaction d'oxydation du corps par une mole de O₂(g).

Le tracé des droites d'ELLINGHAM est fait pour le zinc (Zn(s), Zn(l), Zn(g) en équilibres avec ZnO(s)) et pour le carbone (C(s), CO(g), CO₂(g)) [pyrometallurgie_zinc.pdf](#).

Industriellement, on utilise le carbone et le monoxyde de carbone comme réducteur, que l'on rencontre au travers des trois couples présentés ici.

Les températures au point A et B, intersections entre les droites du zinc et du carbones, sont respectivement de 1217 K et 1652 K ; dans les deux cas, le zinc est obtenu à l'état gazeux.



et



Remarque Les calculs donnent respectivement

$$- \Delta_r G^\ominus = 361,5 - 0,297T$$

$$- \Delta_r G^\ominus = 189 - 0,121T$$

les deux réactions sont endothermiques.

Le carbone solide est meilleur réducteur du point de vue thermodynamique (la température d'inversion est plus faible et la droite d'ELLINGHAM de CO/C est toujours en dessous de celle de CO₂/CO). Cependant, la cinétique est bien plus rapide entre un gaz et un solide qu'entre deux solides ; CO est donc un meilleur réducteur du point de vue cinétique.

Remarque Il est montré par analyse des gaz en sortie de réacteur que le réducteur le plus efficace est CO, il s'agit donc d'une réaction sous contrôle cinétique (industriellement aussi).

1.1.2 Présentation du procédé

L'opération de pyrométallurgie est réalisée dans un haut fourneau.

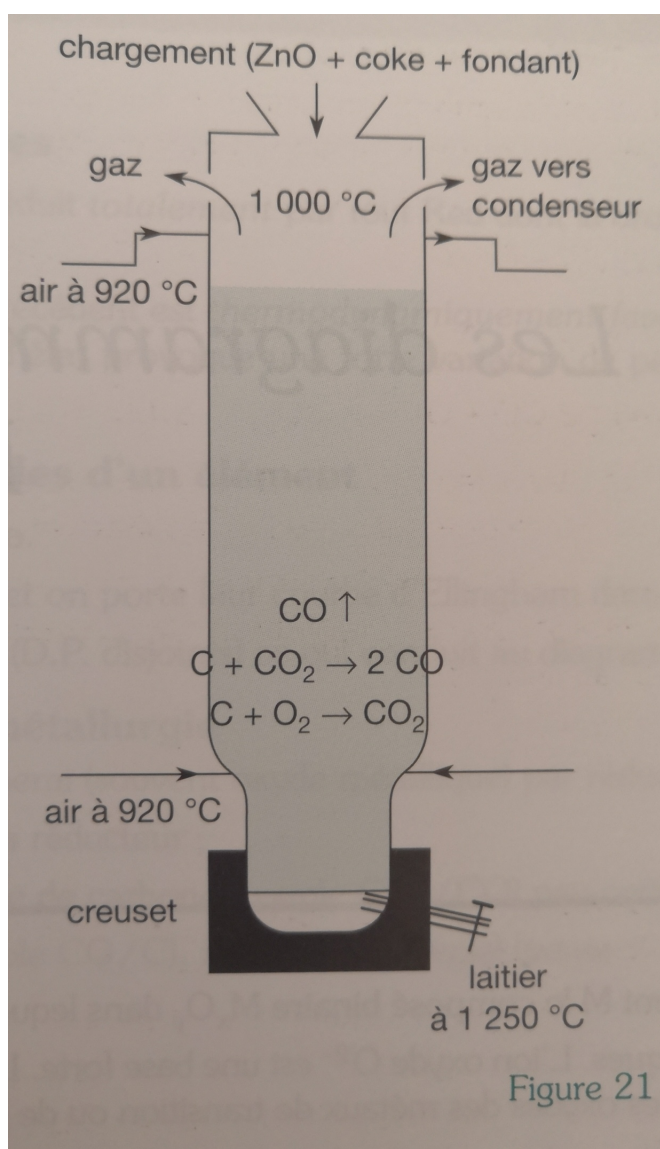


FIGURE 1.1 – Haut fourneau, schématisé par GRÉCIAS, T& D, PC/PC*, p. 655

Le réacteur est chargé en haut (gueulard) de calcine ZnO, de coke (du carbone) et de fondant (qui se combine à la gangue restante pour former un laitier liquide, qui est récupéré en bas du fourneau). L'air est injecté à 920 °C au bas du réacteur, entraînant la combustion du carbone, avec production de CO (principalement responsable de la réduction comme on l'a vue). Une deuxième entrée d'air à la même température est prévue juste en dessous du chargement. Cette réaction étant exothermique, elle permet aux réactions endothermiques de réduction de la calcine par le carbone et monoxyde de carbone d'avoir lieu (température supérieure à environ 1000 °C)

Le fonctionnement du réacteur est continu. En haut est recueilli le mélange gazeux contenant le zinc : ce mélange sort du haut fourneau vers 1000 °C, avec une composition de 8% en zinc sous 1 bar (reste bien sûr du dioxyde et monoxyde de carbone, du diazote...). Ce gaz est envoyé dans un condenseur, réfrigérant refroidit par une pile de plomb liquide vers 450 °C amenant à la liquéfaction du zinc sous la forme d'un alliage Pb-Zn. Cet alliage est encore séparé en deux phases par refroidissement.

Remarque Voir diagrammes de phase <http://www.crct.polymtl.ca/FACT/pdweb.php>.

La première phase est riche en plomb est ramenée vers le condenseur ; la seconde, riche en zinc à hauteur de 98%, constitue le zinc d'œuvre, qui doit encore être raffiné par la suite (distillation fractionnée conduisant au métal pur au delà de 99,9%, utilisable dans l'industrie).

1.2 Hydroméallurgie du zinc

Représente 90% de la production de zinc.

1.2.1 Principe de l'hydroméallurgie

Voir fiche de M. LECONTE et leçon de L. BRIDOU sur les diagrammes E-pH.

1.2.2 Vers le procédé industriel

Voir de BUP « Une vie de zinc », en particulier les aspects industriels abordés dans la partie Électrolyse...

Conclusion

Conclure sur la pyroméallurgie du zinc :

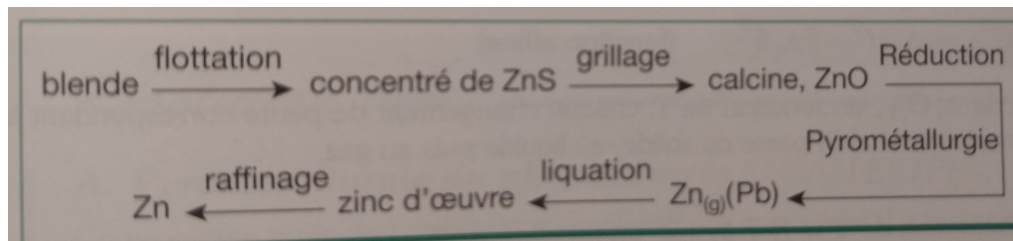


FIGURE 1.2 – Pyroméallurgie du zinc, schématisé par GRÉCIAS, T& D, PC/PC*, p. 655 et l'hydroméallurgie du zinc.