

minerais de zinc : ZnS (blende)



flottation

obtention d'un concentré de blende

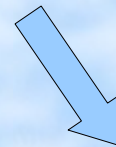


grillage

obtention de la calcine ZnO



pyrométallurgie
(10%)

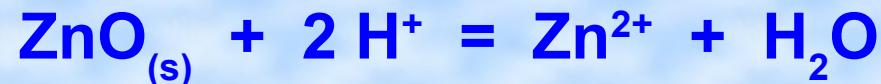


hydrométallurgie
(90%)

Hydrométallurgie

Lixiviation

Dissolution du minerai à 70°C par une solution d'acide sulfurique à 2 mol.L⁻¹ (H₂SO₄) avec barbotage d'air.



(réaction exothermique ce qui permet le chauffage)

La majorité des métaux sont dissous en ions : Zn²⁺
mais aussi Fe²⁺, Fe³⁺, Cd²⁺, Ni²⁺, Cu²⁺, Co²⁺, Mn²⁺...

Certains métaux restent sous forme solide : Au, Ag.
Ils sont récupérés par filtration.

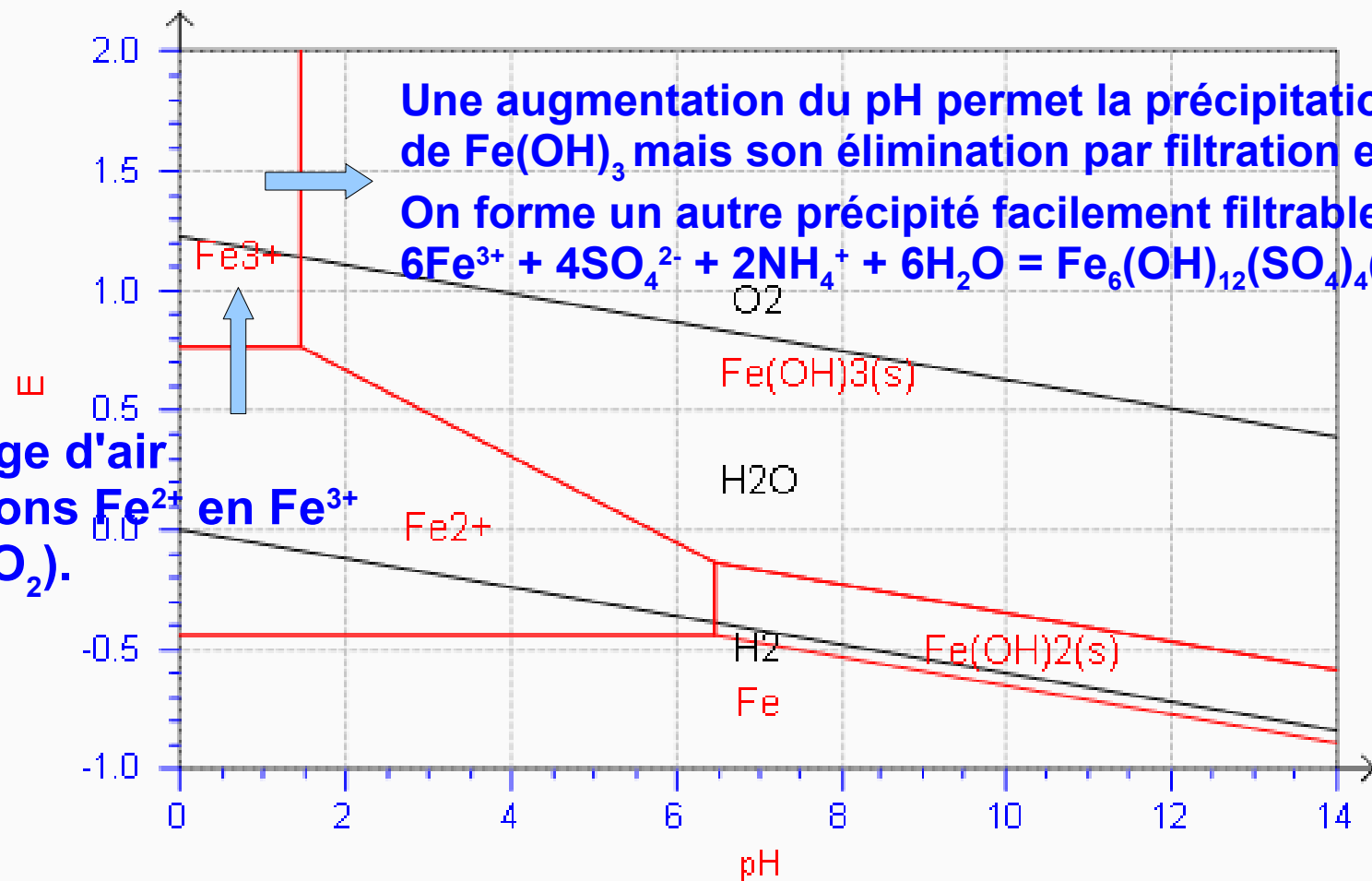
Le plomb, impureté importante, donne un précipité de sulfate de plomb : PbSO_{4(s)}
récupéré par filtration.

Hydrométallurgie

Lixiviation

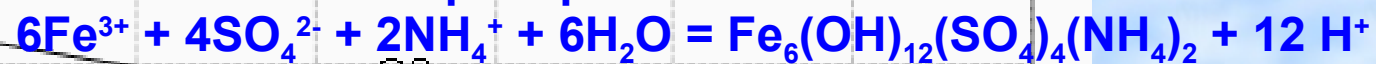
Le fer, impureté importante, donne des ions Fe^{2+} et Fe^{3+} .

Diagramme potentiel-pH : Fer ($C = 1.0 \text{ mol/L}$).



Une augmentation du pH permet la précipitation de Fe(OH)_3 mais son élimination par filtration est difficile.

On forme un autre précipité facilement filtrable :



Le barbotage d'air oxyde les ions Fe^{2+} en Fe^{3+} (action de O_2).

Hydrométallurgie

Cémentation

L'élimination des impuretés est nécessaire :

- obtention finale de zinc très pur
- problème lors de l'électrolyse

**Réduction des cations métalliques
par ajout de poudre de zinc.**



Les particules de zinc se trouvent enrobées par les métaux déposés, c'est le ciment qui est éliminé par filtration.

Le ciment est traité pour récupérer, en particulier, le zinc.

Hydroméallurgie Cimentation

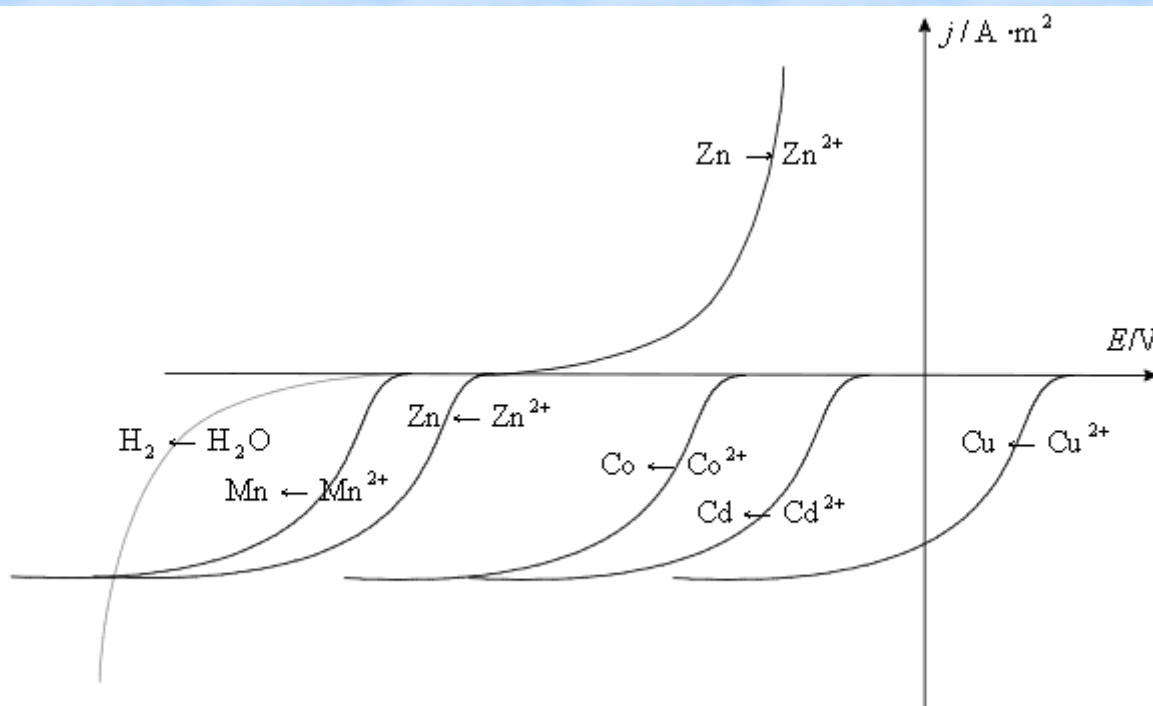
E° (V)	
$\uparrow$	
Cu^{2+}	0,34 Cu
Ni^{2+}	-0,25 Ni
Co^{2+}	-0,28 Co
Cd^{2+}	-0,40 Cd
Zn^{2+}	-0,76 Zn
Mn^{2+}	-1,17 Mn

aspect thermodynamique

**Tous les ions (à l'exception de Mn^{2+})
sont réduits par la poudre de zinc.**

aspect cinétique

**En pratique, la réduction est facile
pour le cuivre et le cadmium
et plus difficile pour le cobalt
(il faut chauffer à 90°C).**



Hydrométallurgie

Cémentation

Après cémentation :

solution de Zn^{2+} à $2,5 \text{ mol.L}^{-1}$ et **H_2SO_4** à 2 mol.L^{-1}

impuretés (Cd^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+}) à moins de $10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$, Mn^{2+}

Hydrométallurgie

Electrolyse

espèces présentes : Zn^{2+} , H^+ , HSO_4^- , H_2O , (Mn^{2+})

aspect thermodynamique

$E^\circ \text{ (V)}$		
		▲
$\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$	2,08	HSO_4^-
O_2	1,23	H_2O
HSO_4^-	0,17	SO_2
H^+	0	H_2
Zn^{2+}	-0,76	Zn
Mn^{2+}	-1,17	Mn

à l'anode : oxydation de H_2O en O_2

à la cathode : réduction de HSO_4^- en SO_2

Hydroméallurgie

Electrolyse

aspect cinétique

$\text{Zn}^{2+} \rightarrow \text{Zn}$ est rapide

$\text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2$ est lent (surtension -0,9 V sur Zn)

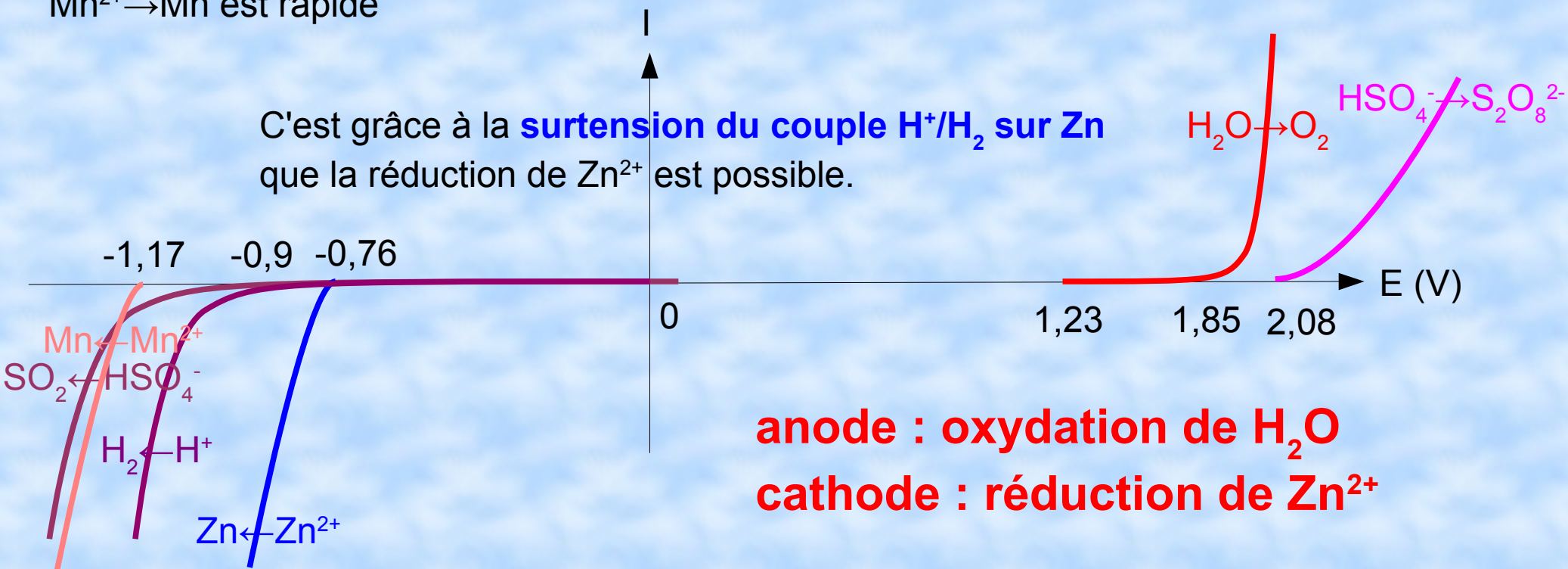
$\text{HSO}_4^- \rightarrow \text{SO}_2$ est très lent

$\text{Mn}^{2+} \rightarrow \text{Mn}$ est rapide

$\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2$ est lent (surtension +0,62 V sur Pb)

$\text{HSO}_4^- \rightarrow \text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ est lent (surtension faible)

C'est grâce à la **surtension du couple H^+/H_2 sur Zn** que la réduction de Zn^{2+} est possible.



anode : oxydation de H_2O
cathode : réduction de Zn^{2+}

Hydroméallurgie

Electrolyse

anode en Pb recouverte de PbO_2 : **oxydation de H_2O en O_2**
(qui passive l'électrode l'oxydation de Pb en Pb^{2+} n'a pas lieu)

cathode en Al recouverte de Al_2O_3 : **réduction de Zn^{2+} en Zn**
(qui empêche la formation d'un alliage Al/Zn)

bilan électrolyse :



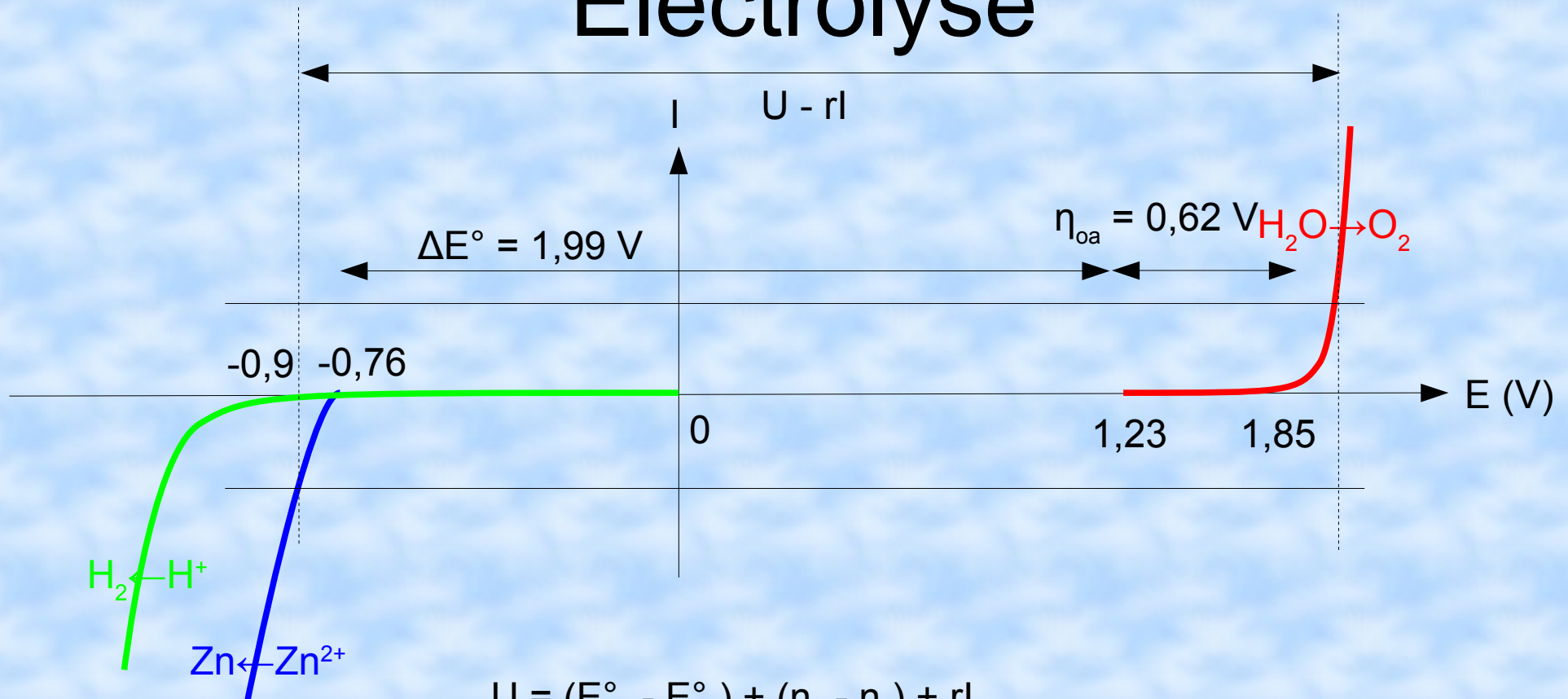
surface des électrodes $3,2 \text{ m}^2$
distance entre électrodes : 2 cm
durée du dépôt : 48 h
nombre de cathodes par cellule : 86
production par cellule : 3 t de Zn par jour
pureté : 99,995 %

Le zinc est récupéré par pelage
puis fondu et coulé en lingots de 25 kg.



Hydroméallurgie

Electrolyse



$$U = (E_a^\circ - E_c^\circ) + (\eta_a - \eta_c) + rI$$

$$U = (1,23 - (-0,76)) + (0,62 + 0,10 - (-0,10)) + 0,70$$

$$\mathbf{U = 3,5 \text{ V}}$$

intensité par cellule : 115 kA

rendement en courant : 90 % (léger dégagement de H_2)

énergie : 3,5 MWh par t de Zn