

السلام عليكم

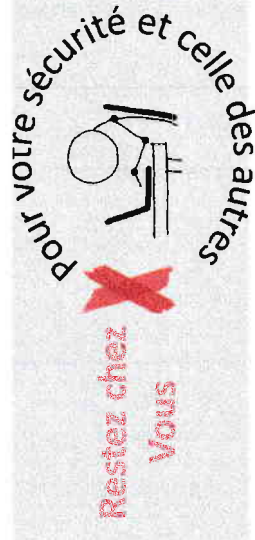
Pyrométallurgie & Hydrométallurgie

Chargée de la matière

Dr. H. BOUTEFNOUCHET

10 Mai 2020

Exemples de traitements par hydrométallurgie



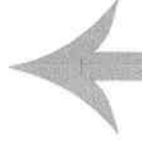
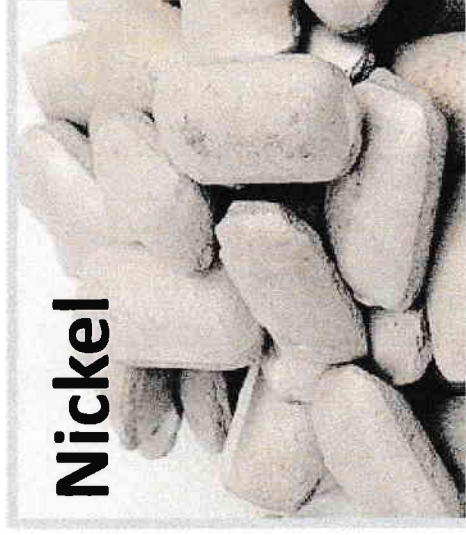
Cuivre



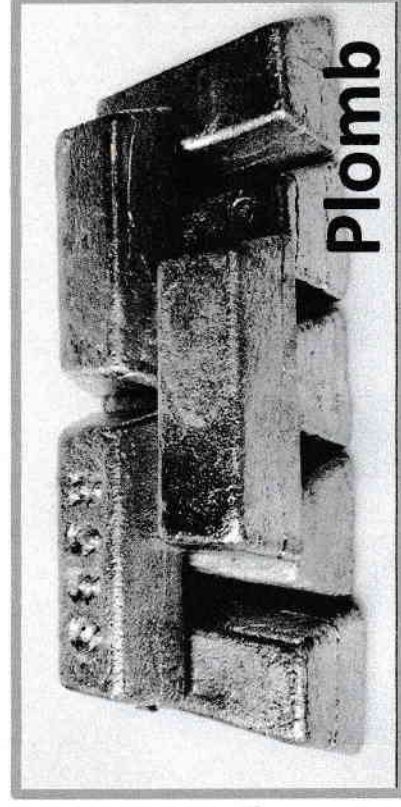
Par traitement
de la pâte de plomb



Nickel



Par traitement
des minerais oxydés



Plomb

Par traitement
des minerais sulfurés

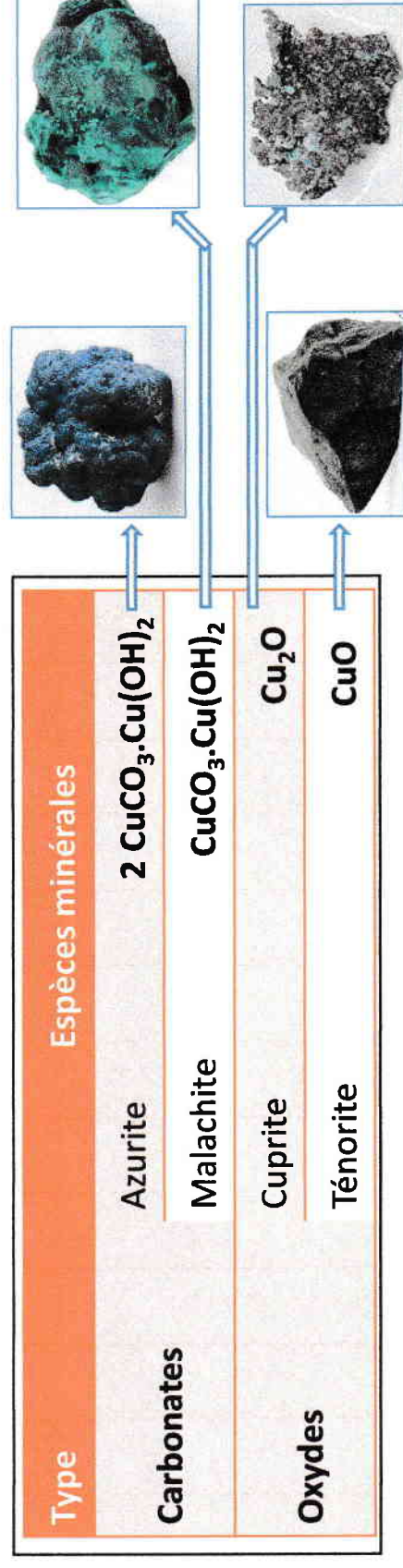
Exemples de traitements par hydrométallurgie



Le Cuivre_Traitement des minerais oxydés

Les minerais de cuivre sont des minerais pauvres de deux types: sulfures et oxydes (de teneurs en cuivre variant de 0.7 à 2%, atteignant exceptionnellement 5 % de cuivre)

L'hydrométallurgie du cuivre est essentiellement destinée aux minerais oxydés (carbonates) facilement solubles et dont le traitement assure 20 % de la production.



La filière hydrométallurgique présente l'avantage de ne pas entraîner une pollution atmosphérique (aucune fumée nocive SO_2 émise) sans toutefois éviter des effluents liquides et des boues.

Exemples de traitements par hydrométallurgie



Le Cuivre_ Traitement des minerais oxydés

La filière de traitement comporte trois opérations principales:

Une lixiviation sulfurique ou ammoniacale suivant la nature de la gangue

À l'acide sulfurique pour une gangue siliceuse ou acide

À l'ammoniacale pour une gangue basique

L' extraction par solvants

La purification concerne le fer et les métaux susceptibles de consommer du courant ou ceux polluant le dépôt tel que le sélénium

Précipitation du cuivre dans la solution par cémentation ou Electrolyse

Les principales techniques de lixiviation pratiquées pour la récupération du cuivre sont:

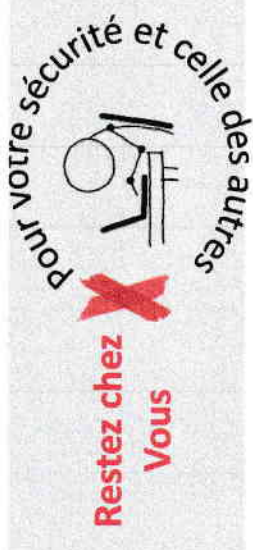
La lixiviation en tas

La lixiviation in-situ

La lixiviation en vat

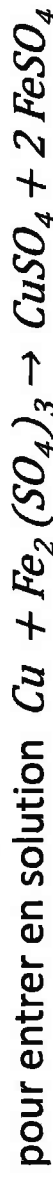
La lixiviation par agitation

Exemples de traitements par hydrométallurgie



Le Cuivre_ Traitement des minerais oxydés

lixiviation sulfurique (formation de CuSO_4)

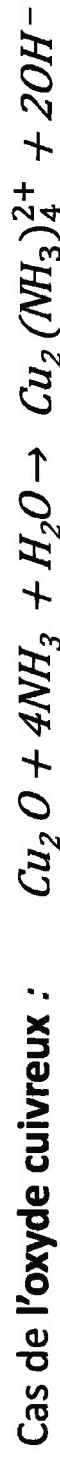


Exemples de traitements par hydrométallurgie



Le Cuivre_ Traitement des minerais oxydés

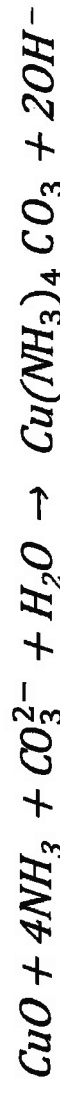
lixiviation ammoniacale



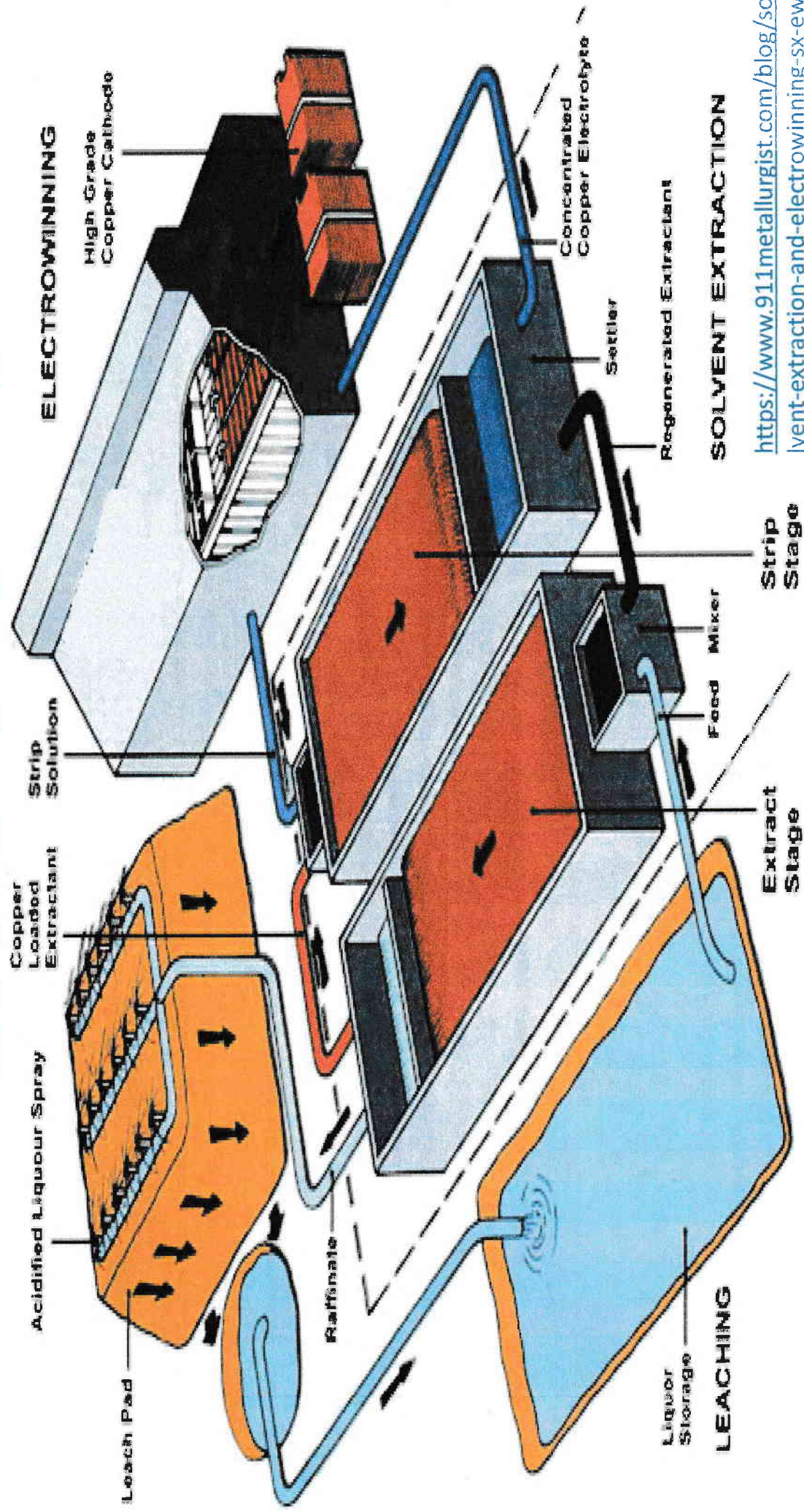
L'ion cuivreux incolore s'oxyde à l'air en ion cuivrique bleu



Cas de l'oxyde cuivrique : L'oxyde cuivrique n'est que peu soluble dans l'ammoniaque; la présence de carbonate d'ammonium est nécessaire:

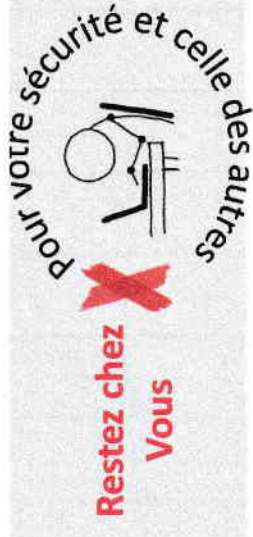


Filière hydrométallurgique de traitement des minerais de cuivre



<https://www.911metallurgist.com/blog/solvent-extraction-and-electrowinning-sx-ew>

Exemples de traitements par hydrométallurgie



Le Cuivre_ Traitement des minerais oxydés

Extraction par solvant

Le procédé d'extraction liquide-liquide consiste en la mise en contact de deux phases non miscibles, une aqueuse et une organique entre lesquelles le métal passe d'une manière sélective selon les conditions opératoires utilisées. L'opération se fait en deux étapes qui sont l'extraction et réextraction (ou stripping).

Etape 1: Extraction

L' extractant organique utilisé pour le cuivre : mélange de 14 % LIX 64 N (5.8 diethyl 7 hydroxy 6 dodécanone) et 86 % de kérosène comme diluant



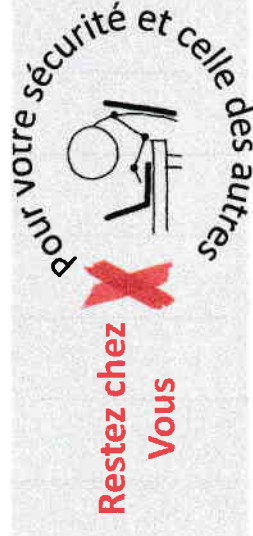
Le cuivre quitte la phase aqueuse issue de la lixiviation pour se retrouver dans la phase organique en produisant de l'acide.

Etape 2: Stripping



Le cuivre quitte la phase organique lorsqu'elle se retrouve en milieu acide pour aller dans la phase aqueuse destinée à l'électrolyse en libérant la phase organique qui va servir à une nouvelle extraction.

Exemples de traitements par hydrométallurgie



Le Cuivre_ Traitement des minerais oxydés

Electrolyse ou Electroextraction du cuivre

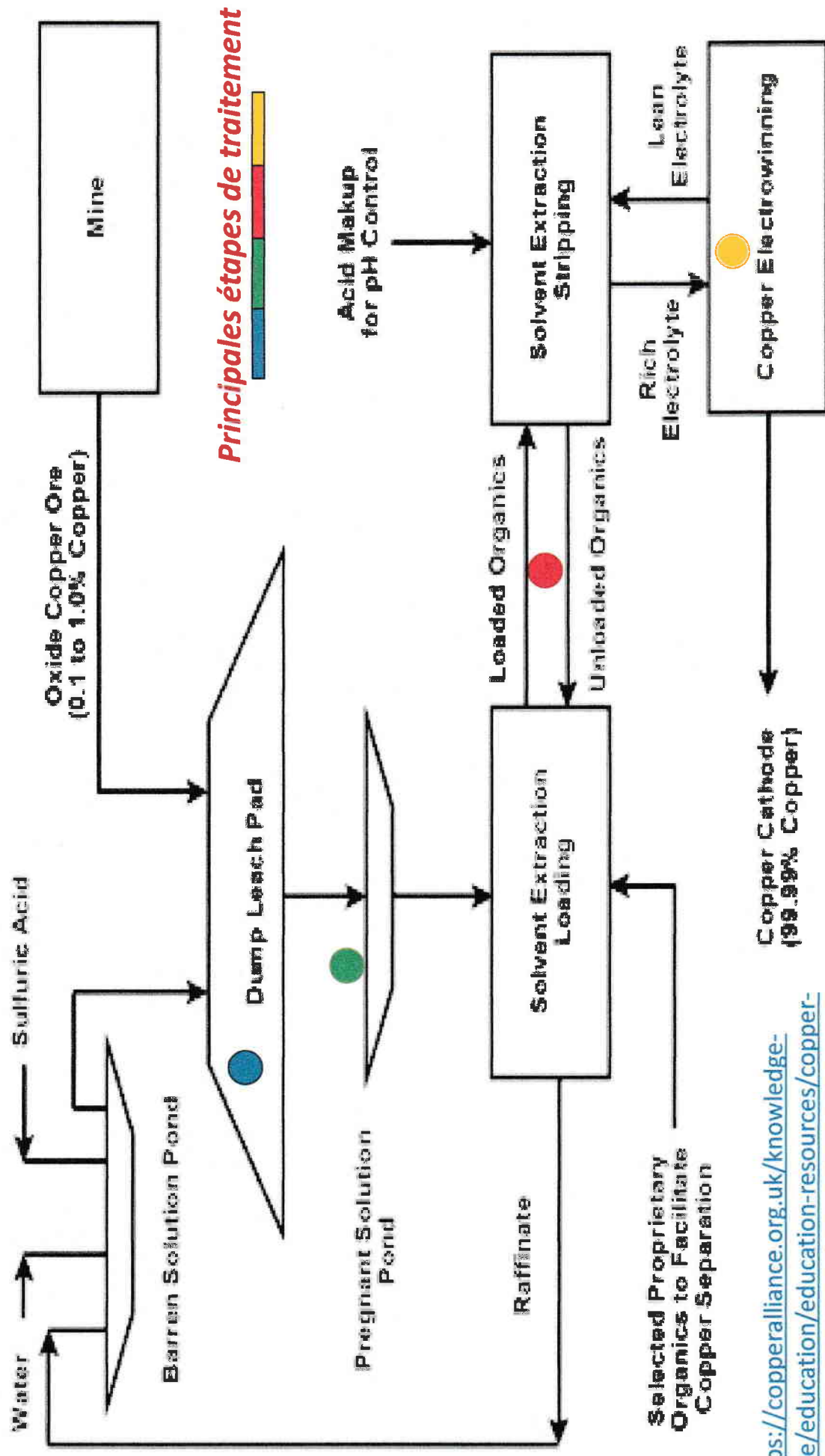
Le procédé industriel de production du cuivre par électrolyse part de solutions de sulfate de cuivre obtenues par lixiviation sulfurique des minerais oxydés, soumises ensuite à une opération d'extraction du cuivre par solvant et à une extraction inverse donnant une solution suffisamment concentrée « électrolyte riche ».

Une cuve rectangulaire (de 3 à 5 m de longueur) est constituée par une batteries d'anodes suspendues verticalement et une quantité égale de cathodes intercalées d'une superficie de 1 m².

Les cathodes sont constituées de feuilles de Cu ou par des plaques de Ti .Les anodes sont en Pb-6% Sb.

La réaction globale d'électrolyse s'écrit : $Cu^{2+} + SO_4^{2-} + H_2O \rightarrow Cu + \frac{1}{2} O_2 + SO_4^{2-} + 2H^+$

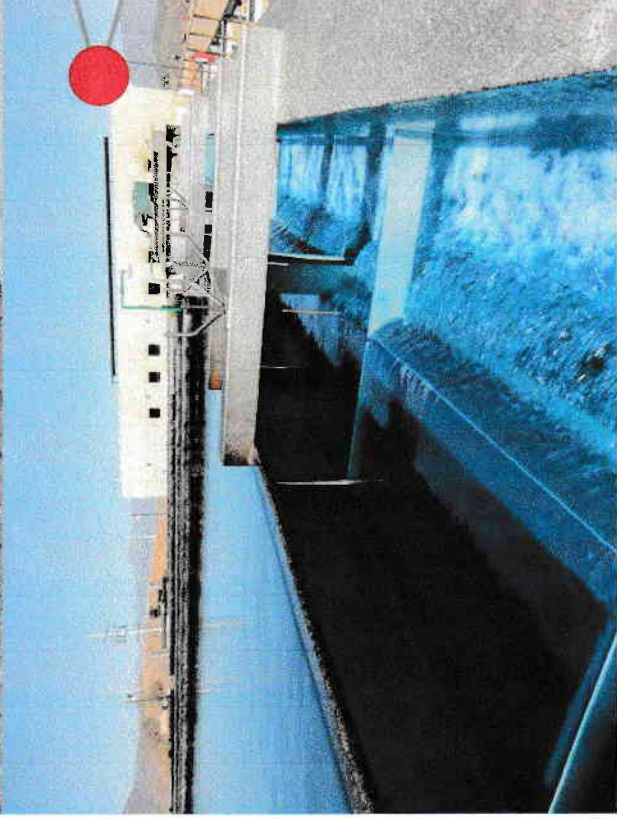
d'où le potentiel normal de la cellule : $E_0 = 1.23 - 0.34 = 0.89 \text{ V}$



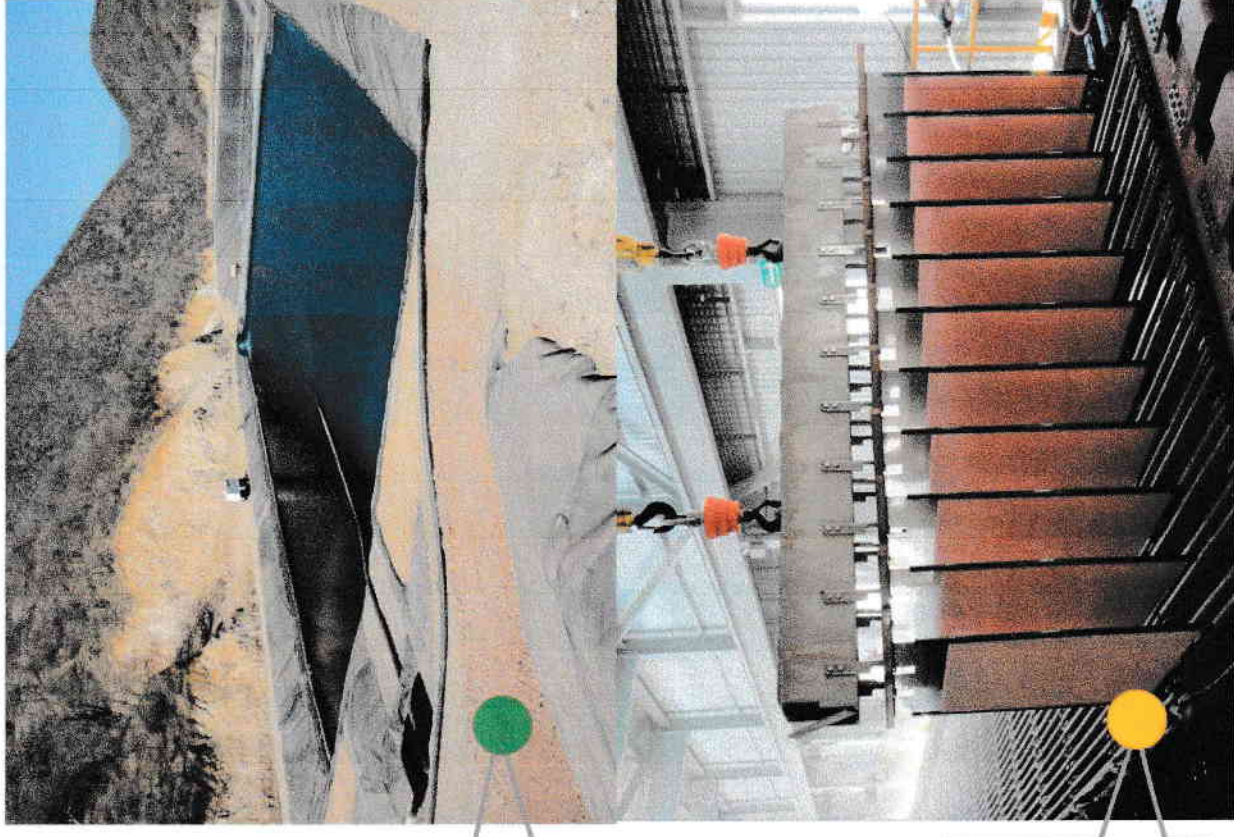
<https://copperalliance.org.uk/knowledge-base/education/resources/copper-mining-extraction-oxide-ores/>



Le minéral concassé est chargé sur une aire rendue étanche par un revêtement dans une mine à ciel ouvert.



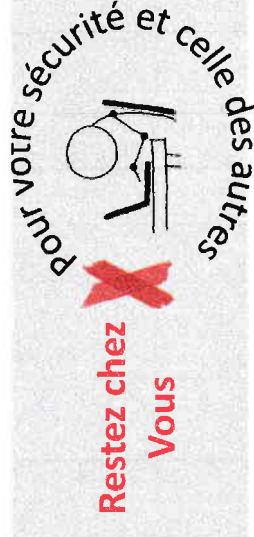
Extraction au solvant : **1-** un solvant organique puis **2-** un acide fort. La solution bleue à haute teneur en cuivre = électrolyte riche.



La liqueur mère contient des ions Cu qui lui donnent la couleur bleue de CuSO_4 . Le liquide est pompé vers l'usine de traitement.

Le cuivre est retiré des plaques de cathode lorsqu'il est suffisamment épais. Ce cuivre cathodique est pur à plus de 99.7%

Exemples de traitements par hydrométallurgie



Le Nickel_Traitement des minerais sulfurés

Les minerais de nickel sont de deux types sulfures ou oxydes. Ils sont riches en fer, pauvre en nickel et ils contiennent du cuivre et du cobalt que l'on cherche à récupérer.

La séparation réalisée selon le procédé Sherritt – Gordon est basée sur la lixiviation ammoniacale en autoclave comprenant les étapes suivantes:

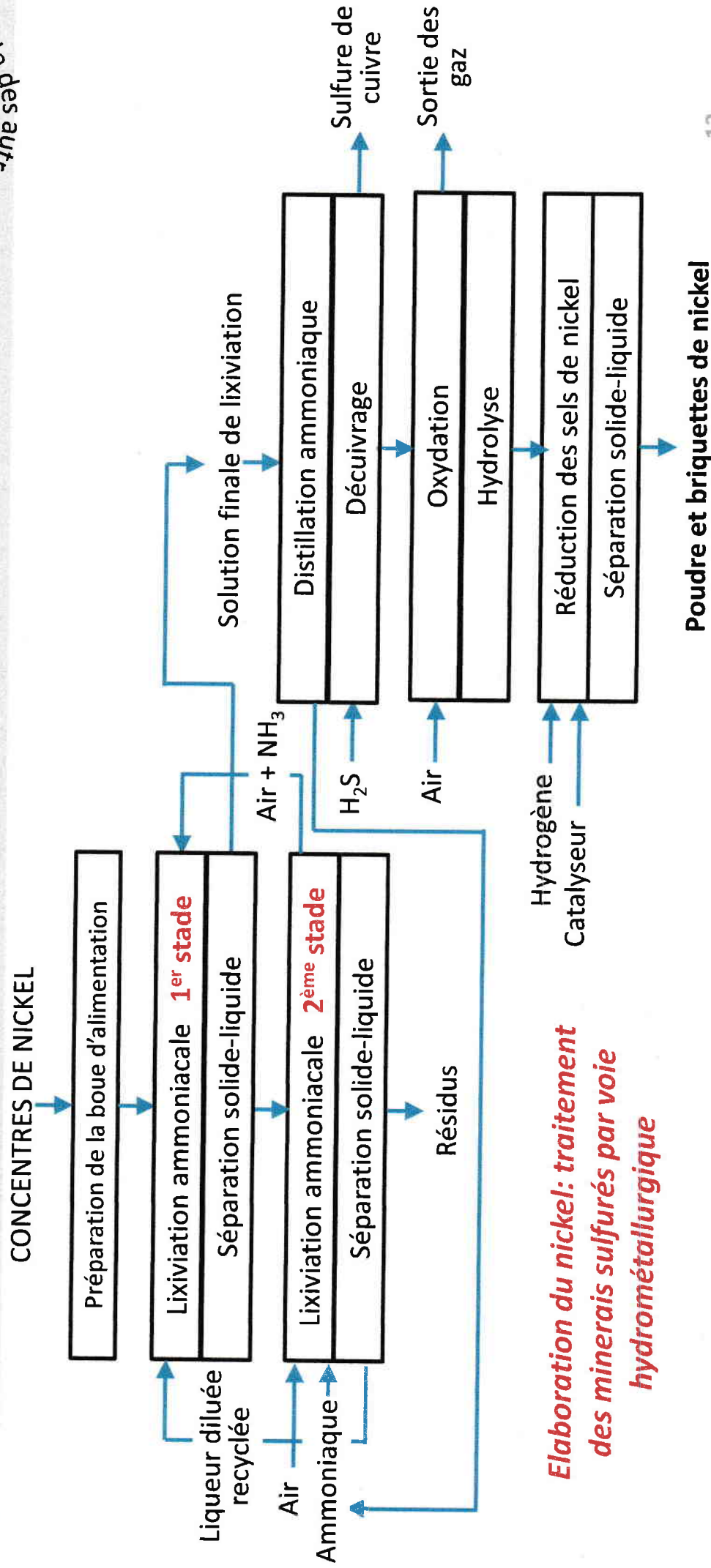
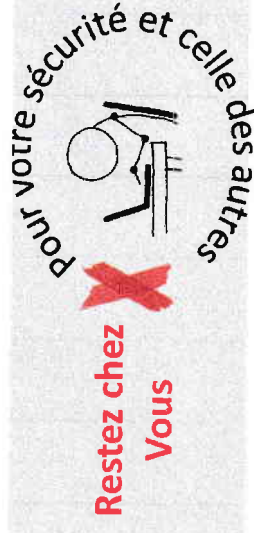
- ✂ Une lixiviation oxydante sous pression entre 80 et 90 °C
- ✂ Une étape de purification des solutions
- ✂ Un ajustement ammoniacal par distillation et acidification
- ✂ Un décuivrage par sulfure d'hydrogène laissant un concentré de nickel et de cobalt
- ✂ Une oxydation/hydrolyse à 250 °C
- ✂ Une réduction sous pression d'hydrogène du nickel à 200 °C
- ✂ Une extraction des métaux résiduels
- ✂ La récupération du sulfate d'ammonium



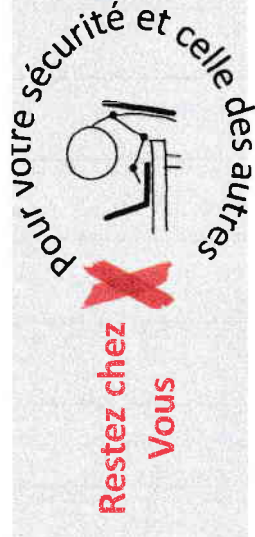
Les sulfures de fer et de nickel constituent la plus importante proportion de minerais exploités pour le nickel. Le principal minéral est **La pentlandite**.

$(\text{Ni, Fe})_9\text{S}_8$ avec 34 % Ni

Exemples de traitements par hydroméallurgie



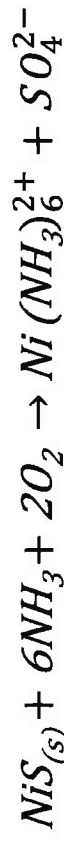
Exemples de traitements par hydrométallurgie



Le Nickel_ Traitement des minerais sulfurés

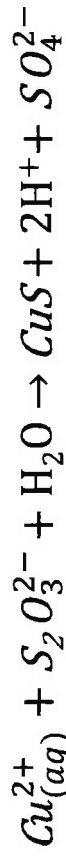
La lixiviation ammoniacale oxydante du concentré de nickel

À environs 80 °C sous une pression de 7 - 10 atm, opération permettant de séparer les composés à base de fer. Transformation des sulfures de Ni, Co et Cu en amines solubles, et du sulfure de fer en oxyde de fer insoluble suivant les réactions:



La Séparation du cuivre

Suite à l'élimination de l'ammoniac sous forme de vapeur, les ions thiosulfates se recombinaient avec le cuivre qui précipite. Il est ensuite séparé de la suspension par filtration.



Exemples de traitements par hydrométallurgie



Le Nickel_ Traitement des minerais sulfurés

L'élimination des composés résiduels du soufre

Elle se fait par oxydation et hydrolyse dans un autoclave à 250 °C et 40 atm.



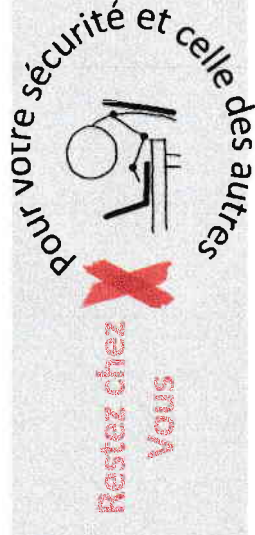
La précipitation du nickel

Réduction des sels de nickel par l'hydrogène gazeux par une réaction de précipitation « hétérogène » :
Croissance de particules de nickel sur des germes préalablement introduits.



Cette opération est suivie de la séparation des particules de nickel par filtration

Exemples de traitements par hydrométallurgie



Le Plomb _ Traitement de la pâte de plomb

Le recyclage des vieilles batteries au plomb-acide usagées est requis pour le développement durable de l'industrie du plomb. Les batteries au plomb-acide usagées comprennent entre 'autres de la pâte de plomb usée avec une composition complexe, comprenant principalement du $PbSO_4$, du PbO_2 , du PbO et une faible quantité de plomb métallique.



Composition chimique de la pâte de plomb

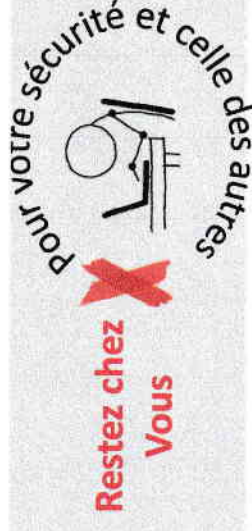


Pb (%)	Fe (%)	Sb (%)	Si (%)	Ca (%)
72.01	0.06	0.5	0.05	0.092
As (%)	Cu (%)	S (%)	Sn (%)	Na (%)
0.01	0.05	6.9	0.014	0.023

Le dioxyde de plomb est insoluble dans la solution de soude $NaOH$ et la présence de sulfate influence négativement la produit final, Pb^{4+} est réduit en première étape en Pb^{2+}



Exemples de traitements par hydrométallurgie



Le Plomb _ Traitement de la pâte de plomb

Après traitement, la composition chimique de la pâte réduite et désulfurée est la suivante:

Pb _{tot} (%)	Pb _{met.} (%)	PbO (%)	PbO ₂ (%)	PbSO ₄ (%)	SO ₄ ²⁻ (%)
80.64	0.53	77.81	4.26	1.67	0.53

Lixiviation de la pâte dans la solution de NaOH

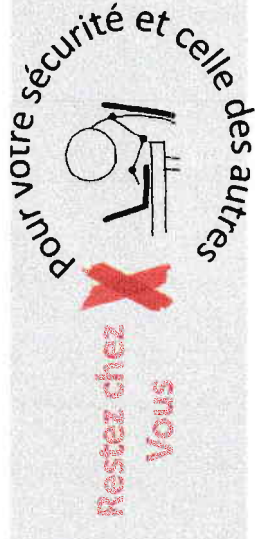


La solution basique obtenue titre 50-55 g/l et une teneur en impuretés de 1 à 30 ppm. Les résidus contiennent 18 à 30 % de plomb et des matières plastiques recyclés au broyage des batteries.

Composition chimique du lixiviat basique

Pb (%)	Cu (%)	As (%)	Sb (%)	Sn (%)
53.2	0.001	0.0028	0.001	0.03

Exemples de traitements par hydrométallurgie



Le Plomb _ Traitement de la pâte de plomb

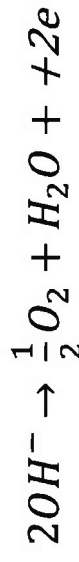
Electrolyse d'extraction

Le plomb dissous subit une électrolyse d'extraction pour obtenir du plomb de pureté électrolytique tout en régénérant de la soude

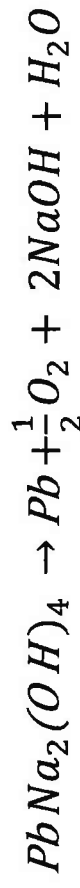
Réaction cathodique



Réaction anodique

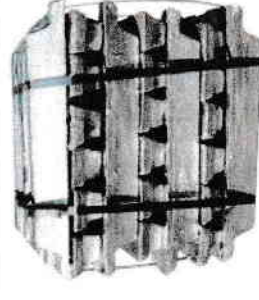


Réaction globale



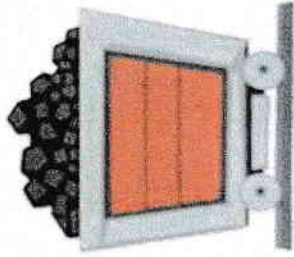
Impuretés dans le Pb électrolytique

Fe (%)	Cu (%)	As (%)	Sb (%)	Sn (%)
< 0.001	< 0.001	< 0.005	< 0.001	< 0.001



Le plomb obtenu sous forme d'éponge est briqueté avant fusion pour

Raffinage du Plomb



Pyrometallurgie et Hydrometallurgie



La partie cours est arrivée à son terme

*La semaine prochaine, vous aurez deux travaux dirigés
à la place du cours*

بالتوفيق ان شاء الله