

السلام عليكم

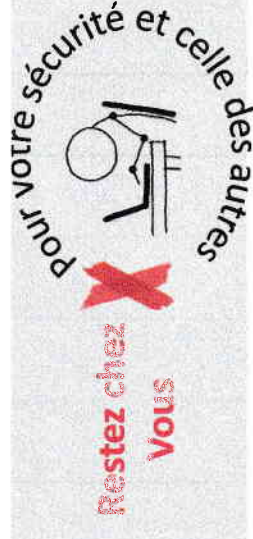
Pyrométallurgie & Hydrométallurgie

Chargée de la matière

Dr. H. BOUTEFNOUCHET

19 Avril 2020

Aspect chimique, thermodynamique et cinétique



Exemple de diagramme de Pourbaix du cuivre

En présence d'eau à 25 °C sous $P = 1 \text{ atm}$ et avec $a_{\text{Cu}^{2+}} = 10^{-6} \text{ mol/L}$.

➡ Les lignes en pointillés montrent les limites de stabilité de H_2O :

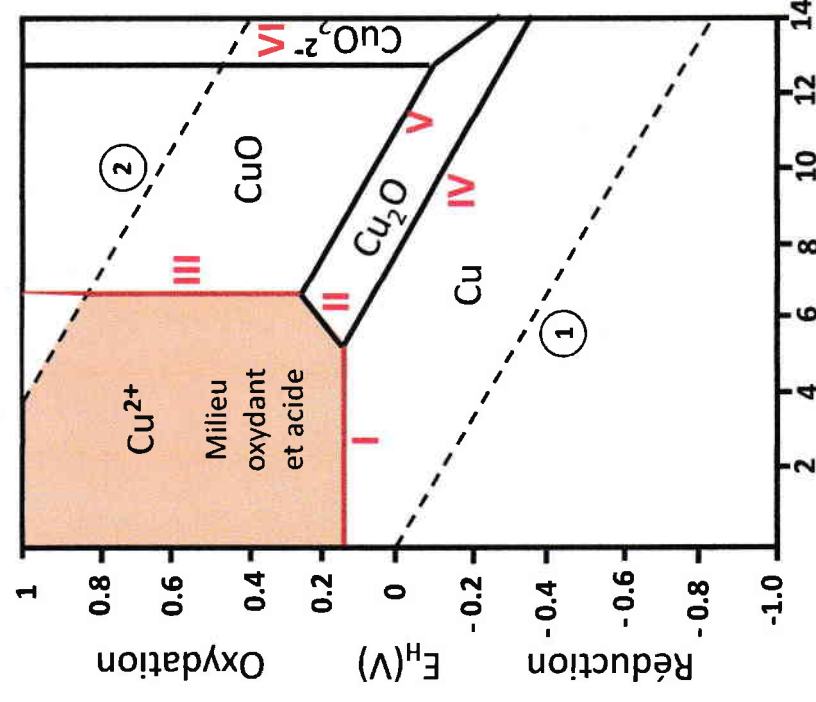
① réduction de l'eau: $2\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{H}_2$

② oxydation de l'eau: $\text{O}_{2(aq)} + 4\text{H}^+ + 4e \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

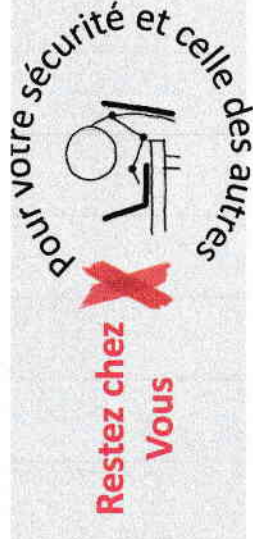
➡ Les lignes I, II...VI délimitent les domaines de prédominance ou d'existence de chaque espèce.

➡ La ligne I indique le potentiel de réduction d'une solution de teneur en ion Cu^{2+} . Pour un potentiel supérieur il y a dissolution du cuivre et inversement.

➡ La ligne III indique le pH au dessous duquel il y a lixiviation de l'oxyde de cuivre par une solution acide.



Aspect chimique, thermodynamique et cinétique



Cinétique ou vitesse de réaction

la vitesse des réactions fournies des données industrielles extrêmement importantes. Elle est mesurée par la variation de la concentration des espèces chimiques intervenant dans la réaction, en fonction du temps.

Soit la réaction $\alpha A + \beta B \rightleftharpoons \gamma C$

– d_{nA} et – d_{nB} moles de A et de B, disparaissent dans le temps dt, au profit de la formation de d_{nC} moles de C. Ainsi, les variations de concentration sont définies par la relation :

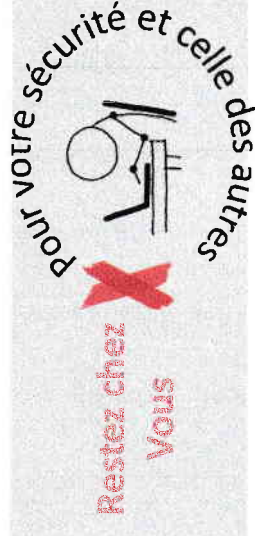
$$-\frac{d_{nA}}{\alpha} = -\frac{d_{nB}}{\beta} = -\frac{d_{nC}}{\gamma} = d\xi$$

ξ : degré d'avancement de la réaction

La vitesse de réaction est définie par : $r = d\xi/dt$

Une réaction est d'autant plus rapide que la concentration des réactifs est plus élevée

Aspect chimique, thermodynamique et cinétique



Constante de vitesse

Dans un équilibre : $\alpha A + \beta B \rightleftharpoons \gamma C$, la vitesse r s'exprime comme suit: $r = K_1 a_A^\alpha a_B^\beta - K_2 a_C^\gamma$

K_1 et K_2 sont les constantes des deux réactions concurrentes (supposées élémentaires)

La constante d'équilibre s'écrit : $K_{eq} = \frac{K_1}{K_2}$

La plupart des réactions chimiques vérifient la loi d'Arrhenius. Cette loi empirique donne l'influence de la température sur la constante de vitesse K en s^{-1}

$$K = A \exp \left(- \frac{E_a}{RT} \right)$$

E_a est l'énergie minimale que doivent acquérir les réactifs pour amorcer la réaction chimique.

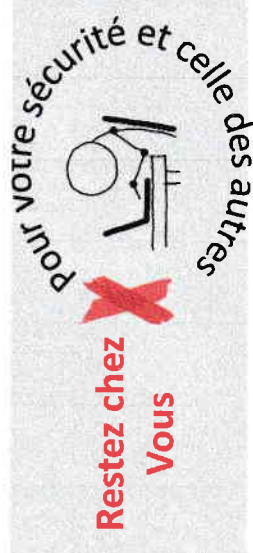
A : Constante (facteur de fréquence)

E_a : Energie d'activation en kJ/mol

R : constante des gaz parfaits

T : la température en K

Aspect chimique, thermodynamique et cinétique

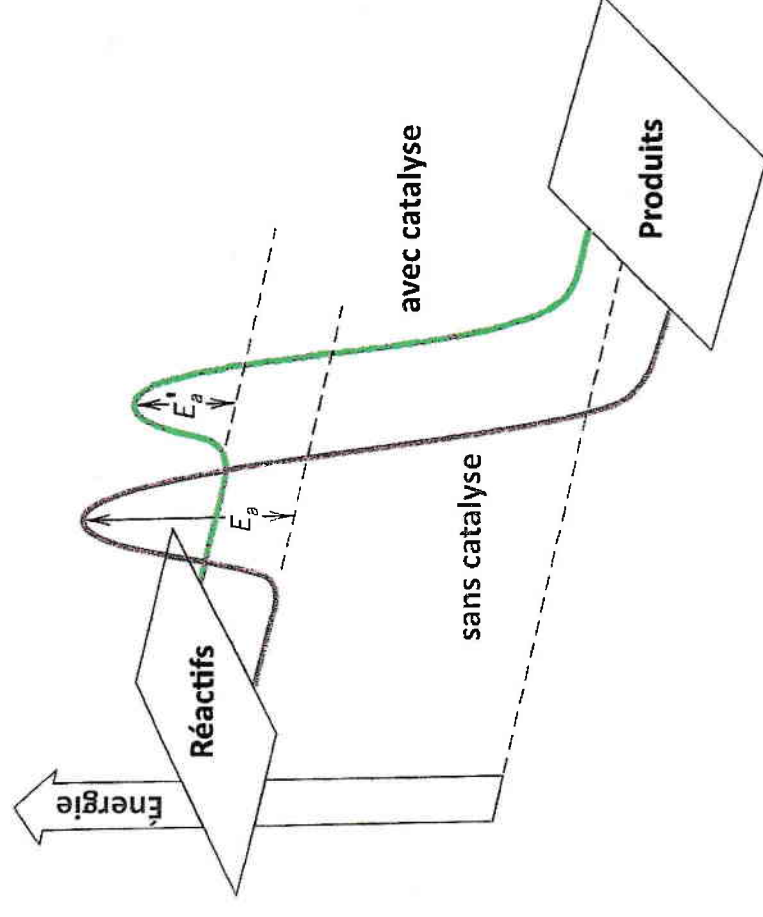


Catalyse

la vitesse des réactions chimiques peut être modifiée en la présence de catalyseurs. Ces substances permettent de suivre un autre trajet réactionnel de plus faible énergie d'activation.

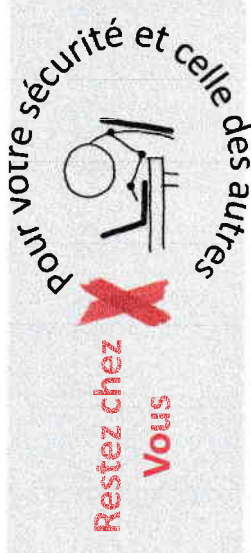
En abaissant l'énergie de l'état de transition, le catalyseur fournira à l'ensemble des réactifs un chemin énergétique plus économique, tout en conduisant aux mêmes produits finaux.

Les réactions de lixiviation sont accélérées par la température et l'ajout des catalyseurs



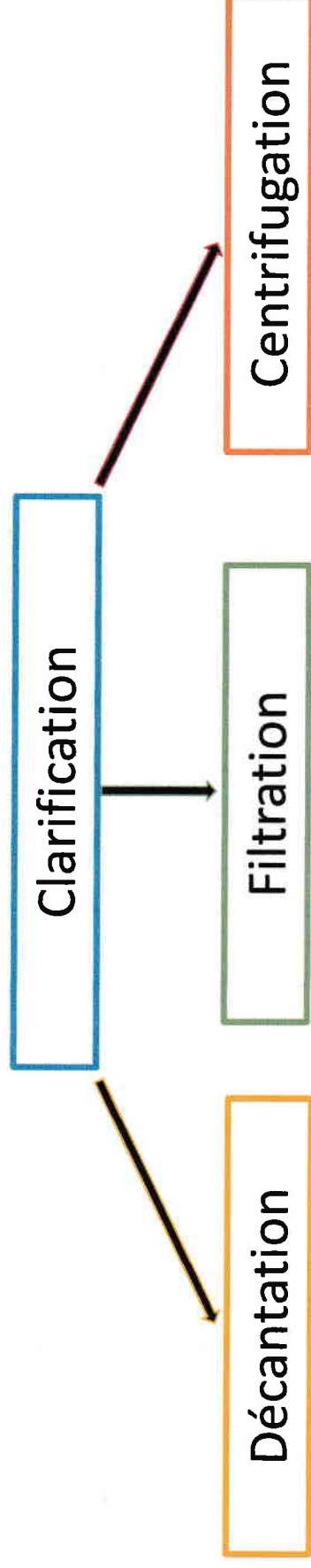
Source: <http://www.chim.lu/ch1356.php>

Séparation solide – Liquide_ Clarification



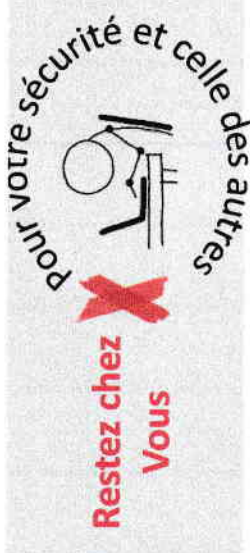
Après la lixiviation, la solution récupérée de cette opération contient des proportions de solides selon le mode opératoire adopté: des proportions faibles dans le cas de la lixiviation en tas et importantes dans ceux issus de la lixiviation en réacteurs agités.

La clarification consiste à l'élimination d'une quantité de solides relativement faible (10 à 15 % de la masse) en suspension dans un liquide. La récupération de la solution s'effectue suivant trois procédés.



La solution clarifiée doit être exempte de particules solides et compatible avec les opérations unitaires ultérieures (purification et extraction) afin d'améliorer leur rendement.

Séparation solide – Liquide_ Clarification



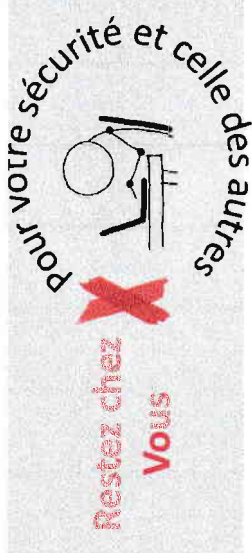
Décantation

La décantation est une opération unitaire physique, parmi les techniques de séparation liquide-solide fondées sur le phénomène de sédimentation, ayant pour but de séparer les particules en suspension dans un liquide, par dépôt sous l'action de leur poids (cas de la décantation gravimétrique)

Le système constitué par la phase solide dispersée dans la phase fluide est appelé suspension ou pulpe. Le fluide dans lequel se fait la dispersion est appelé la phase continue

La décantation permet d'obtenir un liquide clair à partir de cette suspension peu concentrée en particules solides.

Séparation solide – Liquide_ Clarification



Facteurs régissant la séparation par décantation

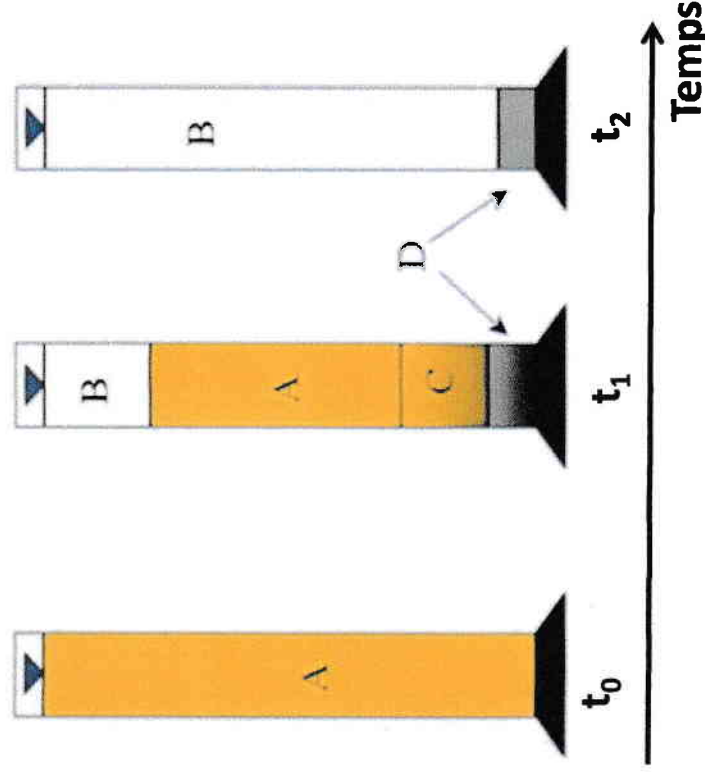
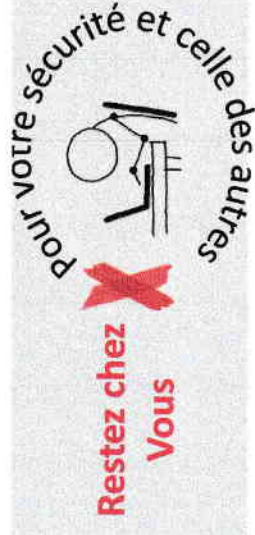
De nombreux facteurs influencent la décantation ; parmi les plus importants, on cite :

<i>La suspension</i>	<i>La phase liquide</i>	<i>La phase solide</i>	<i>L'opération de décantation</i>	<i>Les produits de l'opération</i>
- Concentration de la phase solide - Débit; - etc.	- Nature - Densité, - Viscosité, - etc.	- Nature (solubilité) - Densité - Granulométrie; - etc.	- Vitesse - Durée - Type d'appareil - Mode fonctionnement ;...	- Concentration de la phase liquide dans le sédiment - Concentration de la phase solide dans la surverse.

On admet généralement que les taux de clarification sont fonction:

- de la charge hydraulique superficielle (ou vitesse ascensionnelle) appliquée à l'ouvrage de décantation, en relation directe avec le temps de séjour de la suspension dans le décanteur.
- de l'accélération de la sédimentation des matières solides, pouvant être occasionnée par l'intermédiaire d'un traitement de coagulation – floculation.

Séparation solide – Liquide_ Clarification



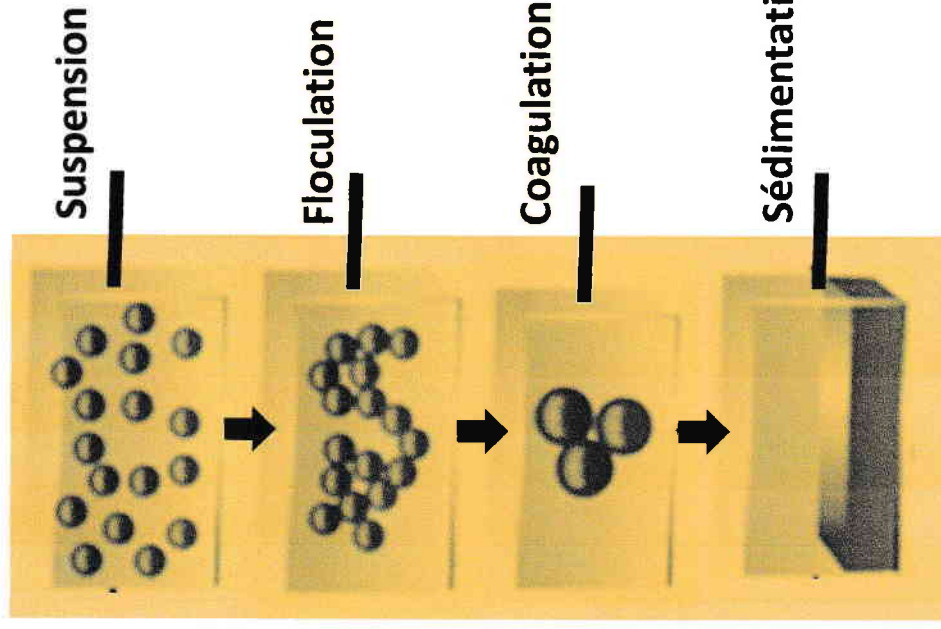
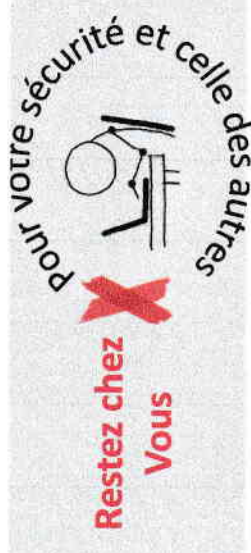
A: suspension initiale B: liquide clair
C: zone intermédiaire D: sédiment

Décantation statique

Le trouble dans le mélange hétérogène est généralement causé par la présence de fines particules en suspension.

Une accumulation naturelle des éléments en suspension se fait à la partie basse du récipient si leur densité est supérieure à celle de la phase continue.

Séparation solide – Liquide_ Clarification



Décantation accélérée (par ajout de flocculant)

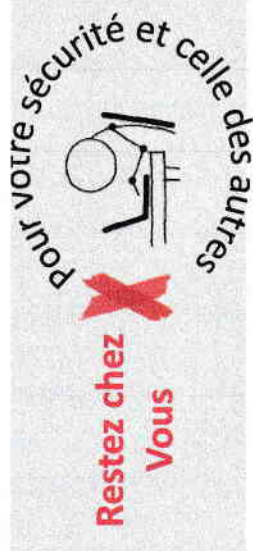
Dans la pratique industrielle, on est souvent confronté à des milieux non newtoniens, les particules étant très fines (quelques μm), leur vitesse de chute est trop faible.

La décantation accélérée est appliquée à des suspensions très diluées avec des solides finement divisés et qui exigent un traitement de coagulation-floculation.

La floculation permet à la fois de grossir les plus fines particules solides et de coaguler les matières colloïdales.

Les particules flocculent et décantent avec une vitesse croissante.

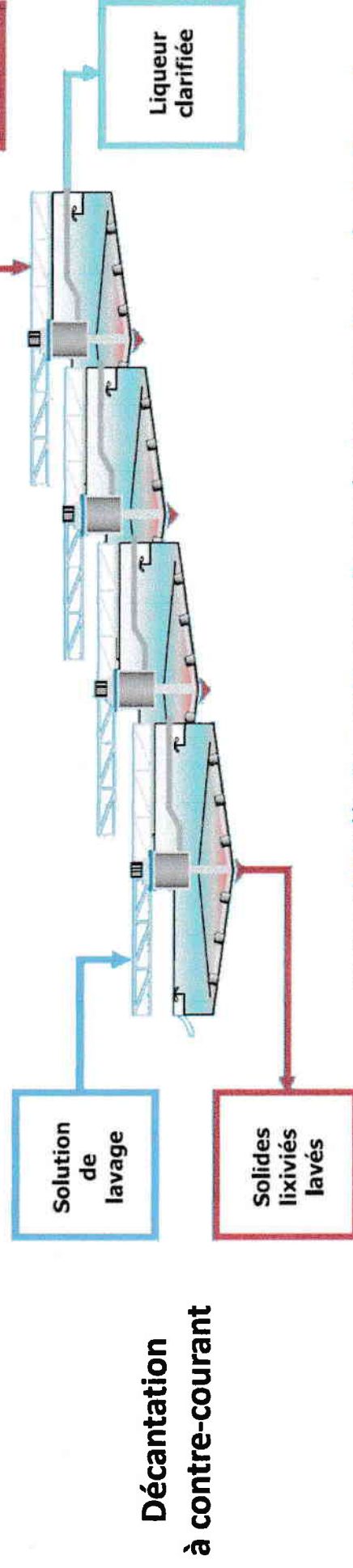
Séparation solide – Liquide_ Clarification



Lavage à contre-courant

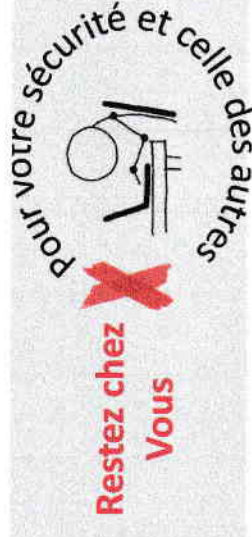
Les résidus de lixiviation, après décantation, contiennent encore beaucoup d'eau interstitielle ainsi que de sels métalliques qui peuvent être adsorbés sur leur surface. Cela nécessite un lavage poussé du résidu.

Le lavage s'effectue souvent dans une série de décanteurs à contre courant avec repulpage entre deux décantations successives; ceci permet de réduire la consommation d'eau et éviter une dilution excessive de la solution.



Source : <http://indices.usinenouvelle.com/metaux-non-ferreux/un-traitement-metallurgique-plus-rentable-du-mineral-pauvre.2901>

Séparation solide – Liquide_ Clarification



Filtration

La séparation par filtration est obtenue en faisant passer la suspension au travers d'un milieu poreux, les particules solides étant retenues par le milieu poreux.

Filtre ou milieu filtrant : c'est le milieu poreux, qui peut être une membrane, une toile ou un lit de particules

Préfilt : c'est la suspension à filtrer

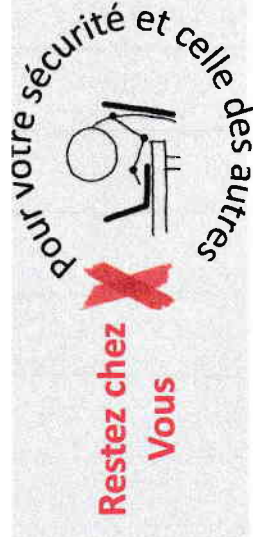
Filtrat : est le liquide récupéré au-delà du filtre appelée également « eau mère »

Gâteau ou tourteau : c'est la couche de particules retenues sur le milieu filtrant.

La proportion de solides en suspension dans le Préfilt détermine le type de filtration à réaliser:

- une clarification de liquide lorsqu'il contient, en suspension, une très faible quantité d'impuretés solides ou colloïdales.
- une extraction de solides lorsque la proportion de solides en suspension atteint une certaine valeur. La phase solide ou la phase liquide, peut être récupérée pour un traitement ultérieur ou rejetée.

Séparation solide – Liquide_ Clarification



Pour la clarification de liquide, la première démarche de toute étude de filtration consiste à préciser **le degré de clarification** que l'on veut atteindre et qui dépend exclusivement de l'utilisation ultérieure du produit.

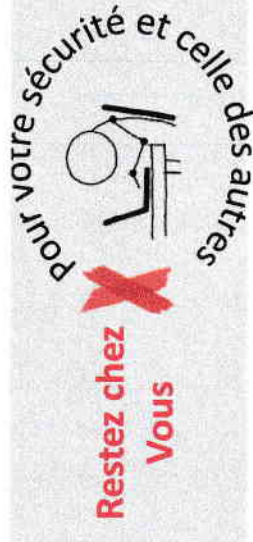
Il faut donc connaître parfaitement :

- **les dimensions et la répartition granulométrique** des particules en suspension
- **la limite de finesse de filtration**, c'est-à-dire le seuil de rétention à partir duquel le filtrat sera considéré comme valable pour l'utilisation demandée.

La notion du degré de clarification est extrêmement importante. Non seulement elle permet de délimiter un groupe de filtres susceptibles d'être utilisés mais, en outre, elle influe directement sur le coût de la filtration.

Une filtration est d'autant plus coûteuse qu'elle est fine.

Séparation solide – Liquide_ Clarification



Classification des filtres usuels pour la clarification

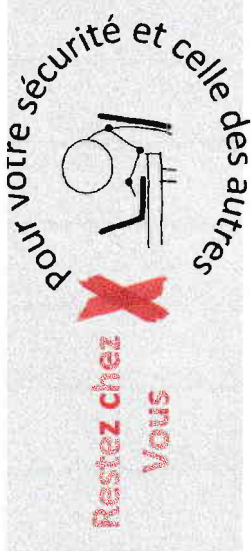
Les filtres qui peuvent être utilisés sont:

- Les filtres à sable

Pour les filtrations submicroniques

- Les filtres à précouche : à bougies, à cadres verticaux ou à cadres horizontaux (équipés généralement de toiles métalliques ou textiles)
- Les filtres à tambour rotatif sous vide à précouche.
- Les filtres à plaques ou à membranes.

Séparation solide – Liquide_ Clarification



Centrifugation

Séparation d'un mélange hétérogène d'une phase solide en suspension dans une phase liquide, par l'action de la force centrifuge.

On recourt à ce procédé d'accélération du processus de sédimentation, lorsque la décantation de particules sous l'effet du champ de la pesanteur est inefficace ou trop lente.

Cette opération obéit aux mêmes principes que ceux de la décantation statique ; le champ de la pesanteur est remplacé par un champ de forces beaucoup plus intense. Ceci permet de réduire la durée de la séparation et d'en augmenter le rendement.

L'efficacité de la séparation dépend de:

- la différence de densité des phases à séparer
- la taille des particules
- la viscosité

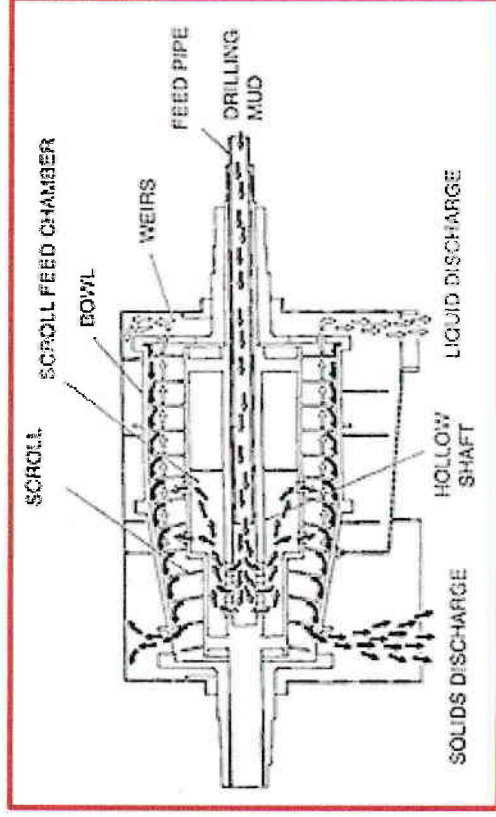
Séparation solide – Liquide_ Clarification



Centrifugation

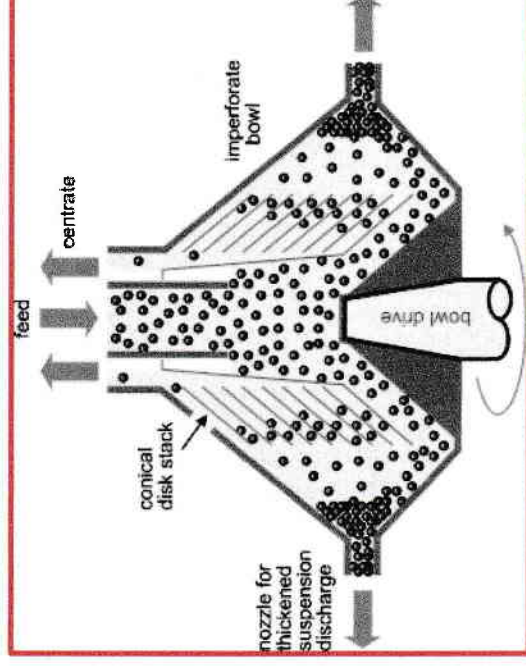
De très nombreuses variantes technologiques de décanseuses sont utilisées, les plus fréquemment sont:

Les centrifugeuses à bol simple



Source : <https://www.mudcontrolequipment.com/decanting-centrifuge>

Les centrifugeuses à assiette



Source : <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/disc-stack-centrifuge>