

السلام عليكم

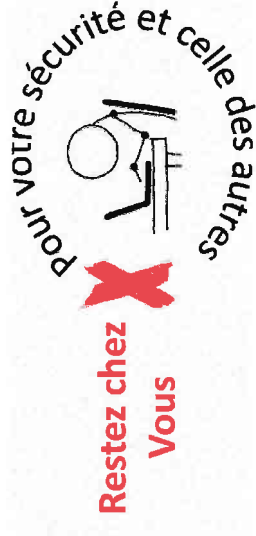
Pyrométallurgie & Hydrométallurgie

Chargée de la matière

Dr. H. BOUTEFNOUCHET

05 Avril 2020

Suite_cours Types de Lixiviation

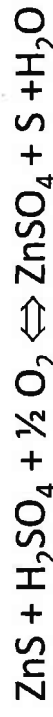


Lixiviation oxydante

De nombreuses réactions de lixiviation en présence d'un agent oxydant très souvent l'oxygène qui permet de transformer le composé métallique en une forme plus soluble ou plus facilement lixiviable.

Exemples

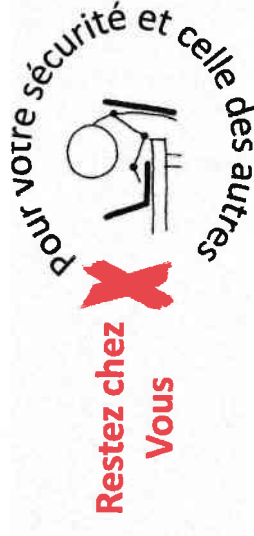
- A 110 °C en présence d'oxygène, l'acide sulfurique dilué attaque le sulfure de zinc avec formation d'un sulfate soluble et du soufre insoluble.



- Oxydation des sulfures de cuivre par le fer ferrique



Suite_cours Types de Lixiviation



Lixiviation Bactérienne

La méthode biologique de traitement pour séparer les métaux utiles du minerai par action des **bactéries** sur les réactions chimiques d'oxydo-réduction, est connue sous le nom de lixiviation bactérienne ou bio-lixiviation (également lixiviation biologique).

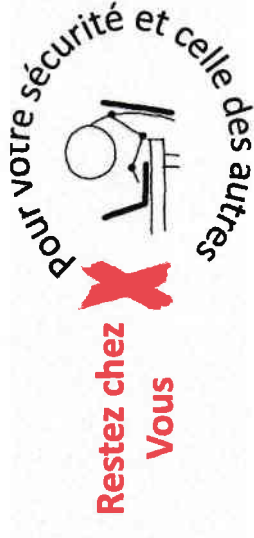
A diagram illustrating the binary fission of a bacterium. It shows a single green oval cell with a darker green nucleus. A red arrow points to the next stage where the nucleus has replicated, shown as two darker green areas. Another red arrow points to the final stage where the cell has divided into two identical daughter cells.

Bactéries

Les bactéries sont des organismes unicellulaires se développant par scissiparité (reproduction par divisions et régénérations) et en besoin d'énergie solaire, de l'air et de CO_2 pour leur métabolisme.

Les bactéries ont besoin de fer et de soufre pour assurer leur rôle métallurgique consistant à oxyder Fe^{2+} en Fe^{3+} et le soufre en H_2SO_4 . Les bactéries ont aussi besoin de carbone issu de CO_2 pour leur constitution.

Suite_cours Types de Lixiviation



La biolixiviation est une méthode alternative économiquement avantageuse au procédé grillage-lixiviation, étant donné qu'elle consomme moins d'énergie, permet une bonne sélectivité et ne produit pas d'émissions de dioxyde de soufre (SO_2).

Les bactéries, catalysent certaines réactions chimiques thermodynamiquement possible mais extrêmement lentes à température ambiante.

La biolixiviation peut être utilisée *in-situ* mais elle est surtout employée pour traiter des minerais ou stériles disposés en amas ou en tas sur des sols étanches (voir technologie de la lixiviation en page 8)

Ce type de traitement est mis en œuvre dans l'hydrométallurgie du cuivre, d'uranium et dans le cas des minerais complexes et des minerais pauvres.

Suite_cours Types de Lixiviation

Exemple de minerai sulfuré de cuivre (conditions: t° optimale 35°C et pH = 2.3)

La pyrite en présence d'oxygène et d'eau est lentement oxydée selon la réaction 1.



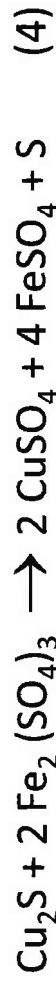
Les bactéries telles que « Thiobacillus ferrooxidans » agissent comme des catalyseurs et accélèrent la formation de sulfate ferrique suivant la réaction 2:



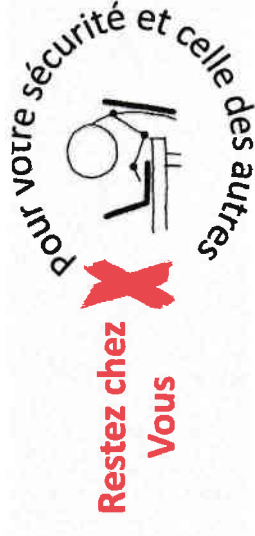
Le sulfate ferrique réagit avec la pyrite pour former du H_2SO_4 et du sulfate ferreux :



Le sulfate ferrique réagit également avec un minéral sulfuré de cuivre, tel que la chalcocite, pour former du sulfate de cuivre, du sulfate ferreux et du soufre élémentaire:



Paramètres de lixiviation



La lixiviation a pour but de transférer un élément chimique de la phase solide (minéral) à la phase liquide (solution d'attaque). Elle fait donc intervenir d'une part des phénomènes chimiques physiques de transfert et d'autre part des phénomènes chimiques de transfert des composés.

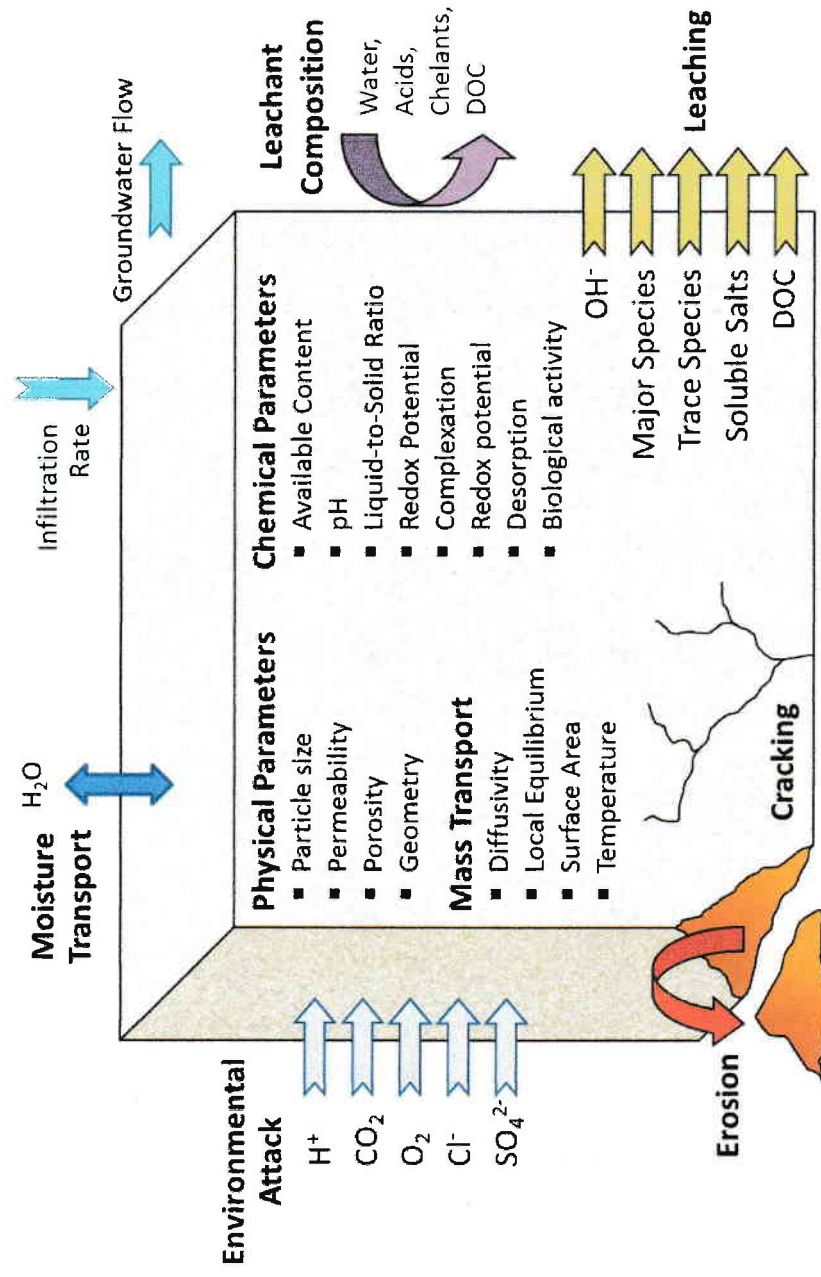
Paramètres physiques

Il est nécessaire de réaliser une bonne mise en contact des phases liquides et solide. La granulométrie du solide ainsi que sa porosité ayant une influence directe sur la surface d'échange, jouent un rôle essentiel dans la cinétique de mise en solution. Le degré de fractionnement du minéral est donc un paramètre très important.

Paramètres chimiques

Dans de nombreux cas, l'espèce présente dans le minéral est transformée lors de la mise en solution par action d'un réactif chimique. La vitesse de cette réaction dépend d'une façon générale de la concentration du réactif ajouté, de facteurs thermodynamiques tels que la t° et la Pression dans le cas où intervient un élément gazeux réactif ou produit de la réaction.

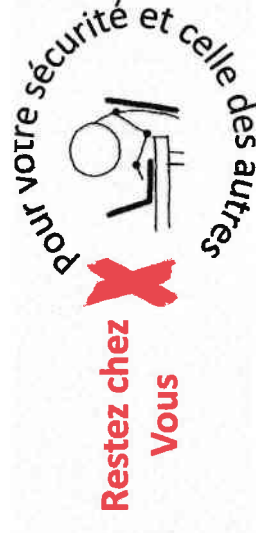
Paramètres de lixiviation



Facteurs physiques et chimiques influençant la lixiviation



Technologie de la lixiviation



Les minerais riches permettent des investissements en matériels et conduisent donc à des opérations plus rapides et plus complètes, tandis que dans le cas des minerais pauvres, on choisit les opérations les plus simples. Les différents techniques de lixiviation utilisés sont :

Lixiviation in-situ (*In-situ leaching*)

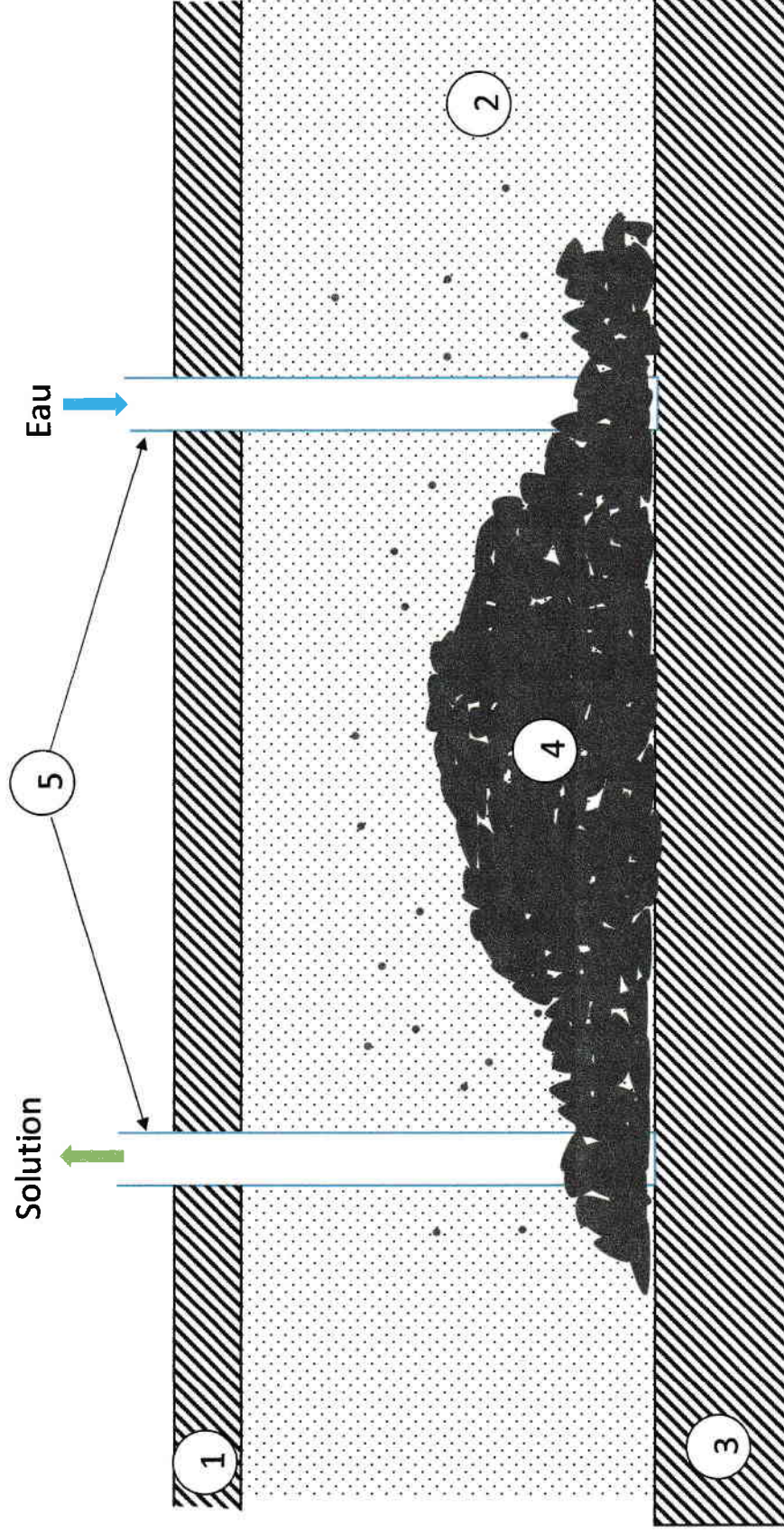
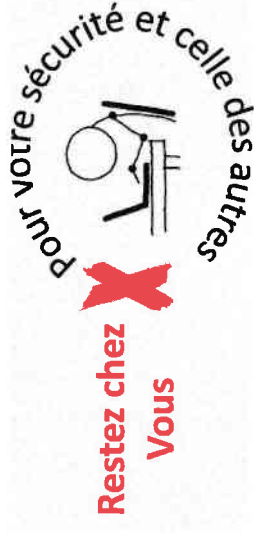
Elle s'applique directement au minerai en place sans avoir besoin d'effectuer des opérations d'extraction mécanique et de transport.

Elle est particulièrement utilisée pour les traitements des minerais de cuivre (ayant une teneur $\leq 0.15\%$).

Il existe deux méthodes de lixiviation in situ:

- La première par irrigation (spraying), qui est appliquée lorsque le gisement est exposé et la solution de lixiviation est arrosée sur le dessus du gisement
- la seconde, est la lixiviation par injection, qui est appliquée lorsque le gisement est enterré et la solution de lixiviation est injectée dans le gisement à travers un système de tuyaux verticaux perforés

Technologie de la lixiviation

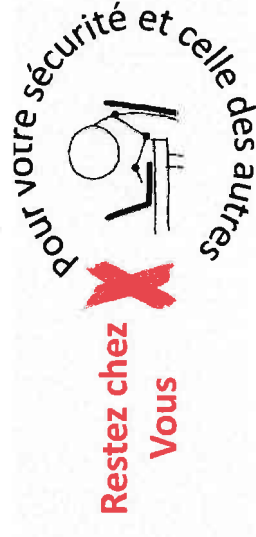


Lixiviation in-situ

La solution aqueuse est récupérée par pompage en fond de mine ou dans un tunnel au point le plus bas du gisement.

① & ③ : Couches imperméables à l'eau ② : Couche perméable à l'eau ④ : Gisement de cuivre ⑤ : Trous (naturels ou artificiels)

Technologie de la lixiviation



Lixiviation en tas (*Heap leaching / Dump leaching*)

Elle consiste à former avec le minerai concassé, un tas sur un sol étanche muni de rigoles destinées à collecter le liquide utilisé pour l'arrosage pour ce tas.

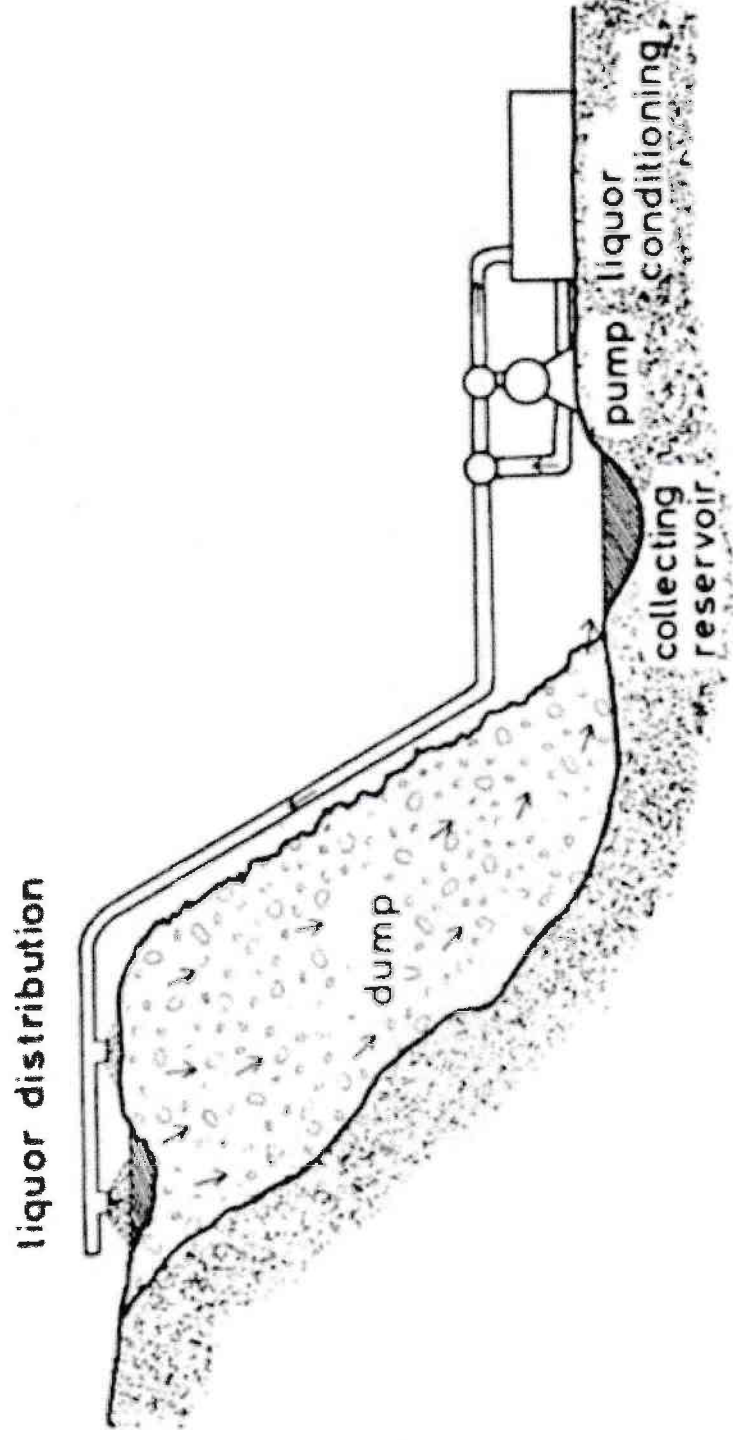
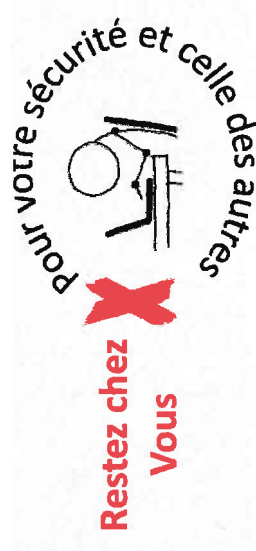
Pour réaliser ce type de lixiviation, il est nécessaire d'avoir le fond du terrain en roche ou d'autre matériel imperméable à l'eau.

Pour ce type de lixiviation, on retient deux cas.

Le « dump leaching » où le minerai est placé en tas sur une surface naturellement imperméable. La solution lixivante, dans ce cas est aspergée par dessus le tas; par la suite on récupère la solution enrichie en bas du tas.

Le « heap leaching » dont le principe est le même que pour le « Dump leaching », sauf que dans ce cas, le tas de minerai est placé sur une surface rendue artificiellement imperméable.

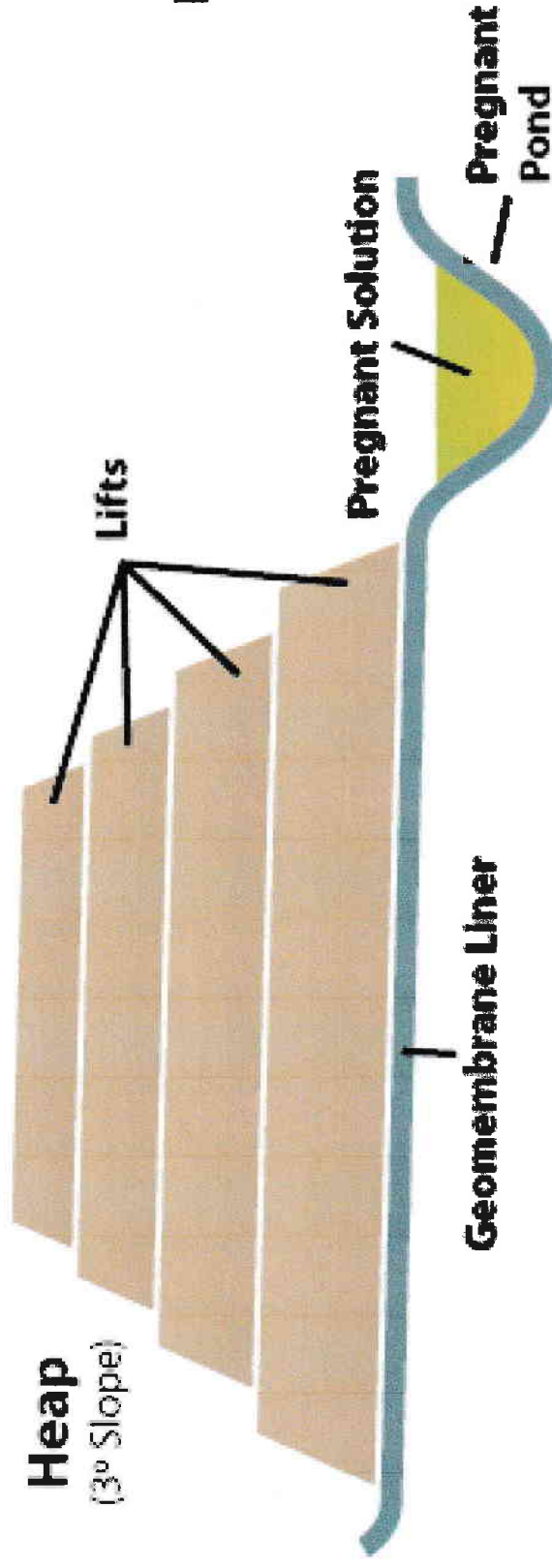
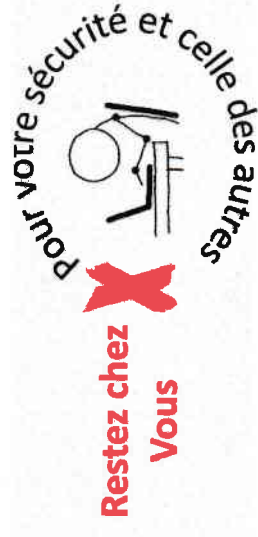
Technologie de la lixiviation



Dump leaching

Source: https://www.alibaba.com/product-detail/Gold-or-copper-heap-leaching-process_60684214934.html

Technologie de la lixiviation



Heap leaching

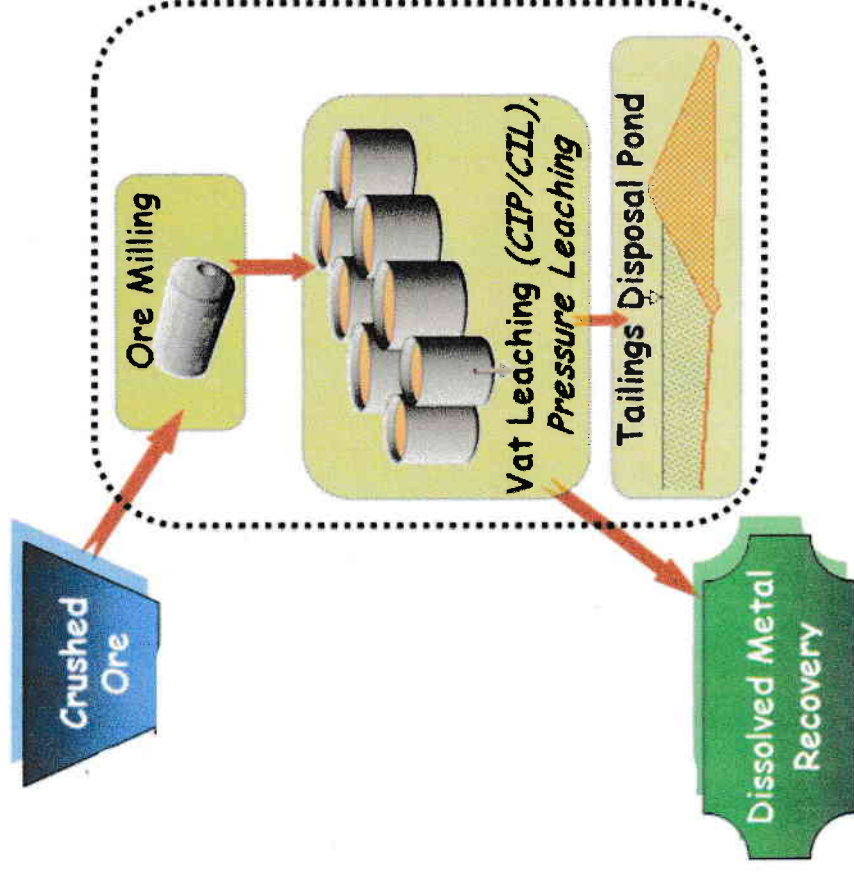
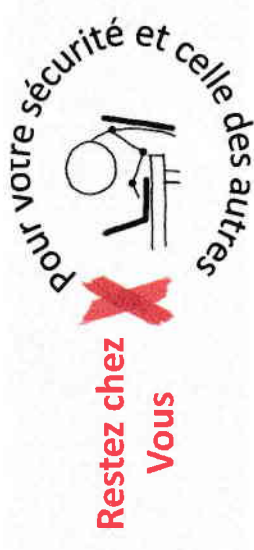
Source: http://www.ore-max.com/?page=how_it_works

Technologie de la lixiviation

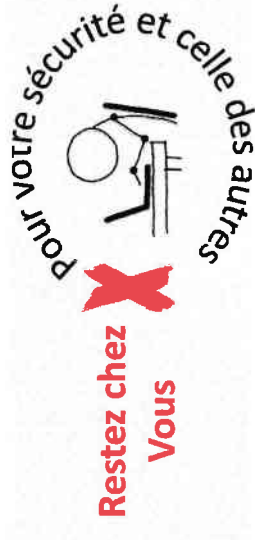
Lixiviation en cuve (*Vat leaching*)

Cette technique consiste à mettre le minerai concassé dans des stalles dont la partie inférieure soutenant le lit de minerai joue le rôle filtre et y verser la solution de lixiviation. Ceci permet de récupérer toute la solution chargée des éléments utiles en dessous de la cuve. Elle s'applique à des minerais dont la teneur est suffisante.

Source: <http://www.euromines.org/files/mining-europe/mining-techniques/batforheapleaching-feb2013-c.zanbak-euromines.pdf>



Technologie de la lixiviation

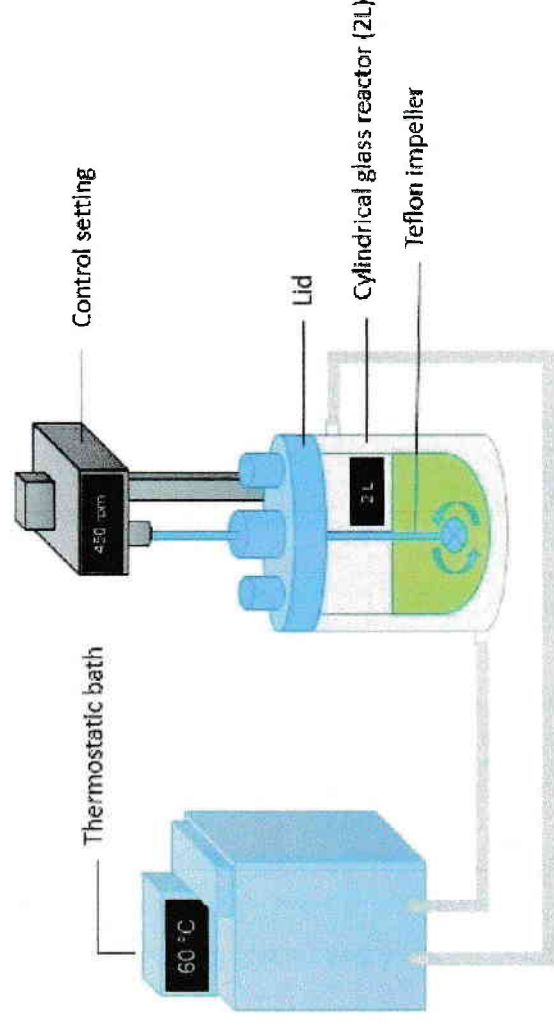


Lixiviation par agitation ou en réacteur agité (*Agitation leaching / tank leaching*)

On fait suivre le concassage par un broyage de minerais riches afin de mettre à nu l'espèce à lixivier.

La poudre obtenue est mise en suspension dans la solution de lixiviation et constitue la pulpe.

L'agitation de cette suspension permet d'accélérer les phénomènes de transfert et par là d'accélérer la lixiviation. Ces lixiviations en réacteur agité peuvent exiger des températures élevées et des réactifs concentrés. Exemple : l'acide sulfurique concentré à chaud.



Source: https://www.researchgate.net/figure/A-schematic-diagram-of-the-agitated-leaching-reactor-used-in-this-study_fig1_336649896

Technologie de la lixiviation

Lixiviation en autoclave (*Autoclave Leaching*)

L'utilisation d'un gaz sous pression peut permettre

- d'accroître la température d'ébullition de la solution lixiviante.
- d'accroître la vitesse de la réaction et d'augmenter le rendement de lixiviation.

Les autoclaves utilisés pour réaliser ces opérations sont fabriqués en matériaux résistants à la corrosion tels que : les alliages spéciaux, Acier inoxydables, etc. Ils peuvent être équipés de turbo-mixeurs pour permettre un bon contact de gaz avec la pulpe. Les autoclaves atteignent généralement des températures de 120 °C et des pressions $P = 5 \div 10$ bar.

Source: https://www.researchgate.net/figure/A-schematic-illustration-of-an-autoclave-for-high-pressure-oxidative-leaching_fig12_318850774

