

Université Ahmed Zabana - Relizane
Faculté des Sciences Exactes et Techniques
Département de Biologie

Cours 2



Chapitre 1

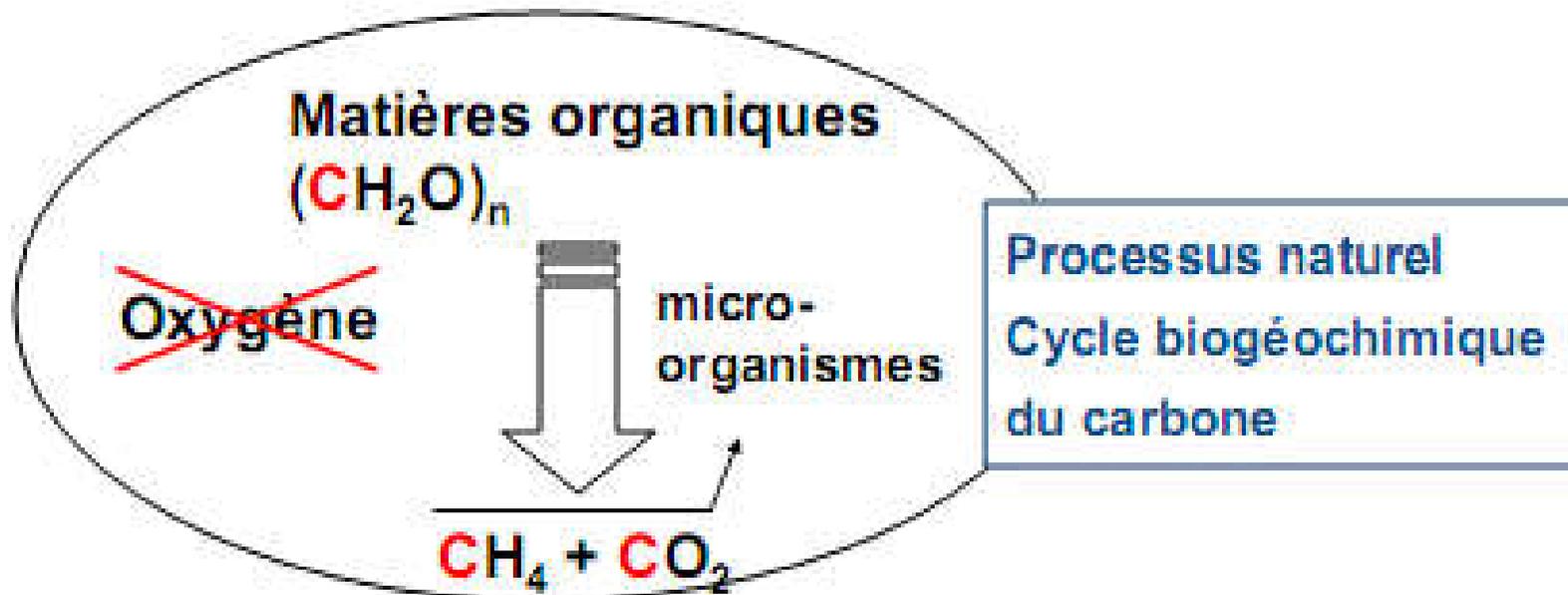
Microbiologie appliquée à l'environnement

ENSEIGNANTE DU MODULE:
Dr. BENAÏSSA OUCIF H.

Février , 2021

La méthanisation ou digestion anaérobie

Dégradation des matières organiques, en absence d'oxygène, par une communauté microbienne produisant du méthane et du dioxyde de carbone



BIOGAZ = mélange de CH₄ (55 - 70 %) et de CO₂

1 m³ de méthane représente 9,7 kW/h d'électricité

Les 3 principales applications de la méthanisation

☐ Traitement des eaux usées

- Élimination de la matière organique carbonée
- Pour les effluents concentrés Vinasses de distillerie par exemple

☐ Gestion des déchets solides

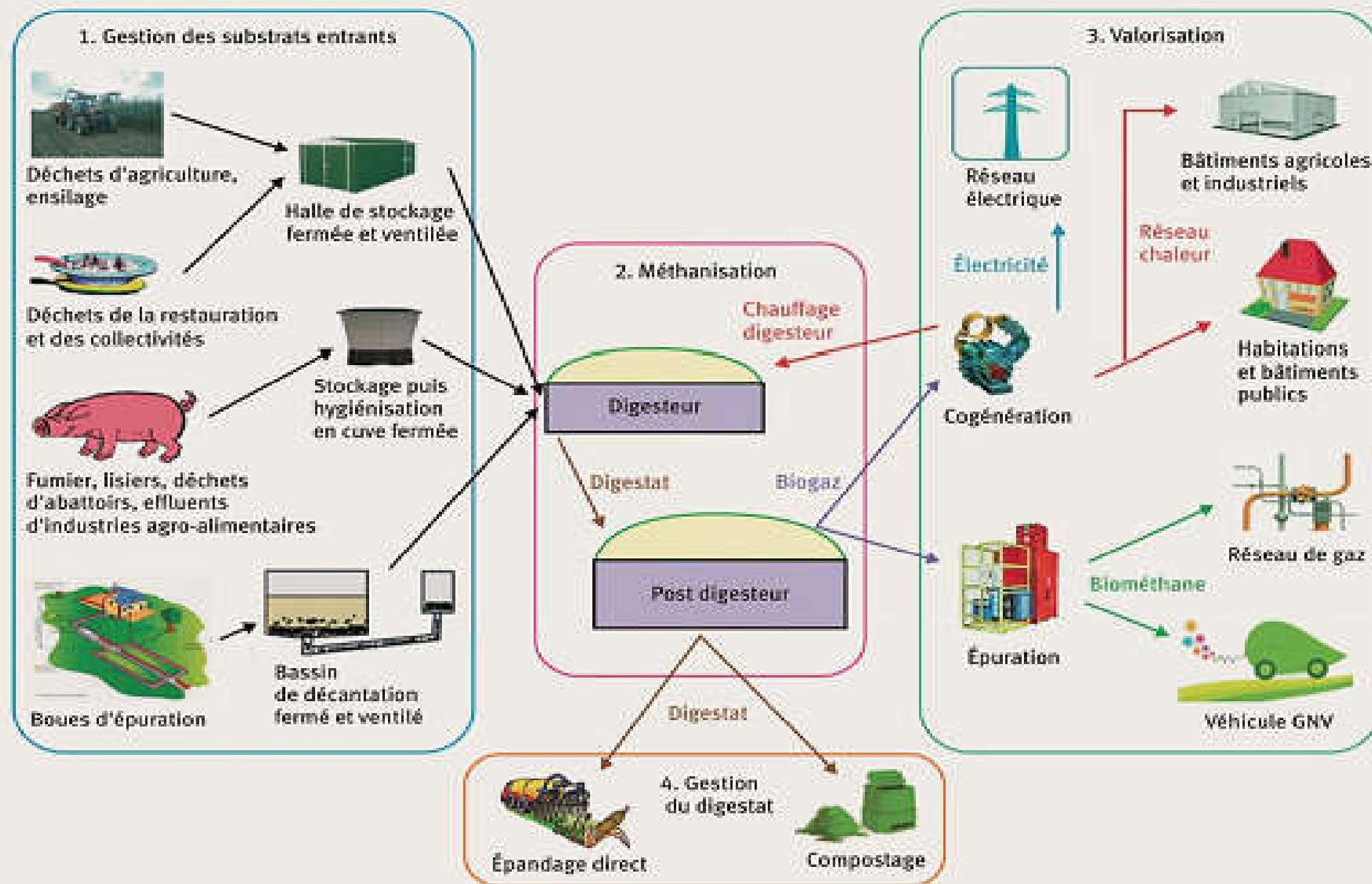
- Stabilisation de la fraction organique des résidus solides et réduction de la quantité à gérer avant épandage, mise en décharge ou incinération
- En traitement des eaux, Stabilisation des boues en excès
- Traitement de la Fraction Fermentescible des Ordures Ménagères (FFOM)

☐ Production d'énergie

- La digestion anaérobie est un moyen de produire de l'énergie renouvelable
 - Le biogaz peut être utilisé pour remplacer des énergies fossiles
 - Le digestat peut être utilisé comme amendement organique
-

Description d'une filière de co-digestion centralisée des déchets solides

❶ Schéma général des installations de méthanisation (d'après Club Biogaz, 2011).



A microscopic view of numerous green, rod-shaped bacteria, likely Bacillus pasteurii, which are used in the production of bioethanol. The bacteria are shown in various orientations and sizes, filling the frame. The text is overlaid in the center in a white, sans-serif font.

**Développement de nouveaux
biocarburants d'origine
microbienne**

Le fait que le pétrole se fasse rare et qu'à long terme il soit amené à disparaître, et l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre.

Les biocarburants sont donc assimilés à une source d'énergie renouvelable.

Un biocarburant est un carburant liquide ou gazeux créé à partir de la transformation de matériaux organiques non fossiles issus de la biomasse, sa combustion ne produit que du CO₂ et de la vapeur d'eau.

On distingue trois générations de biocarburants :

1^{ère} génération

2^{ème} génération

3^{ème} génération: à partir des bactéries et micro algues, Ce type de biocarburants présente beaucoup d'avantages et très peu d'inconvénients ce qui pourrait rendre sa production très intéressante.

Une 1ère génération de biocarburants



la légitimité des biocarburants de **1ère génération** fait débat.

Très coûteux, en compétition avec l'agriculture vivrière, pas si « verts » qu'on le croyait au départ, ils n'apparaissent plus comme la panacée pour remplacer les carburants fossiles.

Selon l'Organisation des Nations Unies, ils participent même à la flambée des prix des denrées alimentaires sur le marché mondial.

La production est principalement axée sur le **biodiesel**, obtenu par transestérification à partir de l'huile extraite du **colza et du tournesol**.

Quant au **bioéthanol**, produit par la fermentation de sucres, il résulte de ceux de la betterave ou de l'hydrolyse enzymatique de **l'amidon du blé et du maïs**.



La 2nde génération de biocarburants



cette seconde génération de biocarburant utilise la **lignocellulose de la plante**, elle n'entre pas en concurrence directe avec les cultures vivrières.

Tous les déchets verts (branchages ou résidus forestiers) peuvent être utilisés, en évitant les conflits d'usage avec les professionnels du bois.

En pratique, **une succession de réactions chimiques** permet en effet de reconfigurer l'assemblage des atomes de carbone et d'hydrogène de la matière organique de la biomasse :

- ❑ **Un procédé de gazéification permet la transformation de la biomasse en monoxyde de carbone (CO) et en dihydrogène (H₂).**
- ❑ **Puis, une réaction catalytique de Fischer-Tropsch - procédé transformant le monoxyde de carbone (CO) et le dihydrogène (H₂) en hydrocarbures (C_nH_{2n+2}) - conduit à l'obtention du carburant synthétique.**

La 3^{ème} génération de biocarburants

Les biocarburants d'origine microbienne

La fabrication de biocarburant à partir des microorganismes pourrait dans un futur proche remplacer le pétrole, Les micro algues sont largement étudiées en tant que biocarburant en raison de leur haute efficacité photosynthétique et de leur capacité à produire des lipides, matière première du biodiesel, Le matériau restant est utilisé pour le bioéthanol avec un procédé de fermentation.

Pourquoi les micro-algues ?

une grande biodiversité.

leur croissance est très rapide .

possédant une forte valeur lipidique(80%)

on les trouve partout.

on peut les cultivés en étangs à haut rendement ou en photobioréacteur .



Procédé de production de biocarburant à partir des micro-algues (*Chlorella Sp*):

Sélection des micro algues pour leur forte teneur en lipides.

Culture dans de grands bassins en plein air ou dans des photobioréacteurs (tubes transparents).



bassin de culture industriel des micro algues à ciel ouvert (Raceway) (1)

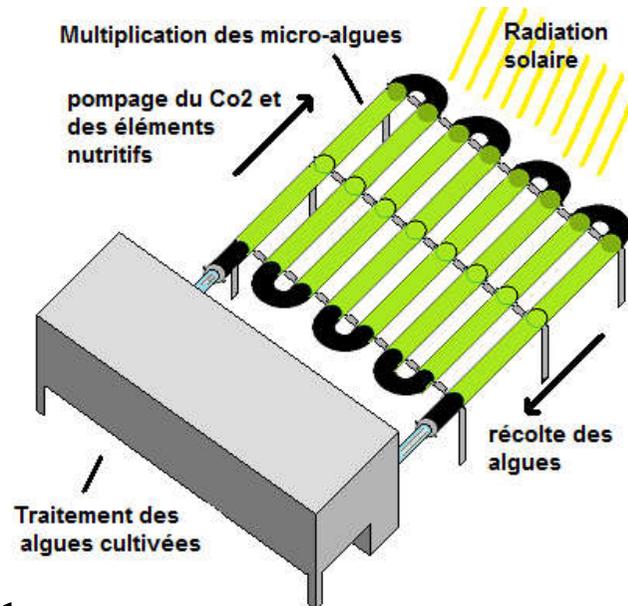


Schéma d'un photobioréacteur (2)



Culture des micro algues dans des photobioréacteurs (2)

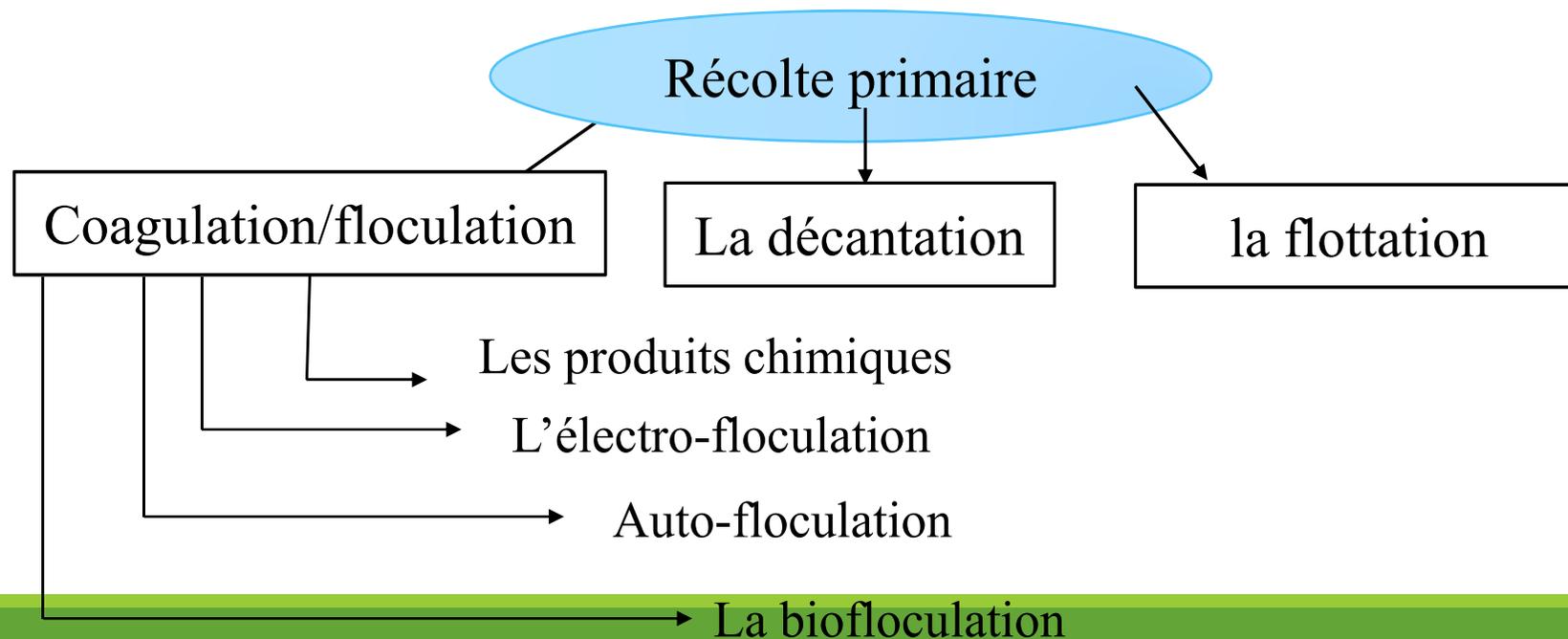
Conditions de culture :

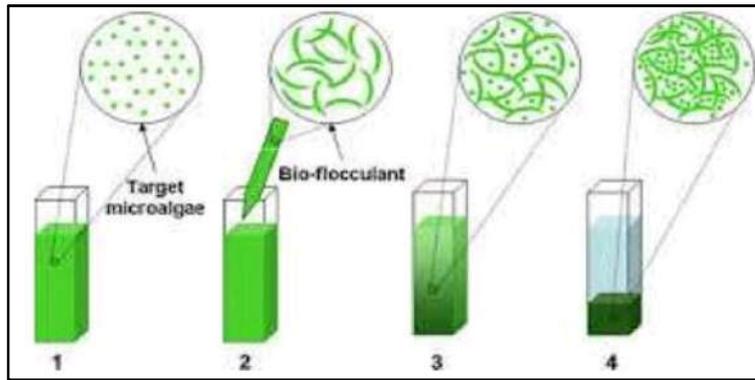
➤ **Autotrophes:** eau, sels minéraux, CO₂ et la lumière.

➤ **Hétérotrophes:** sucres, à l'abri de la lumière.

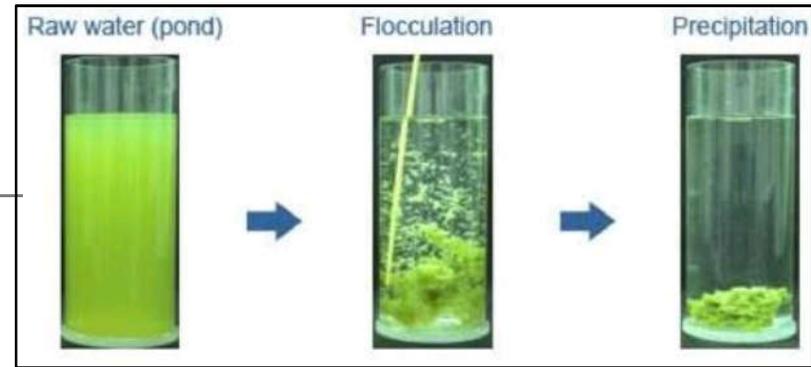
La récolte : séparation des micro algues de l'eau du milieu par différentes techniques.

Les différentes techniques de récoltes:

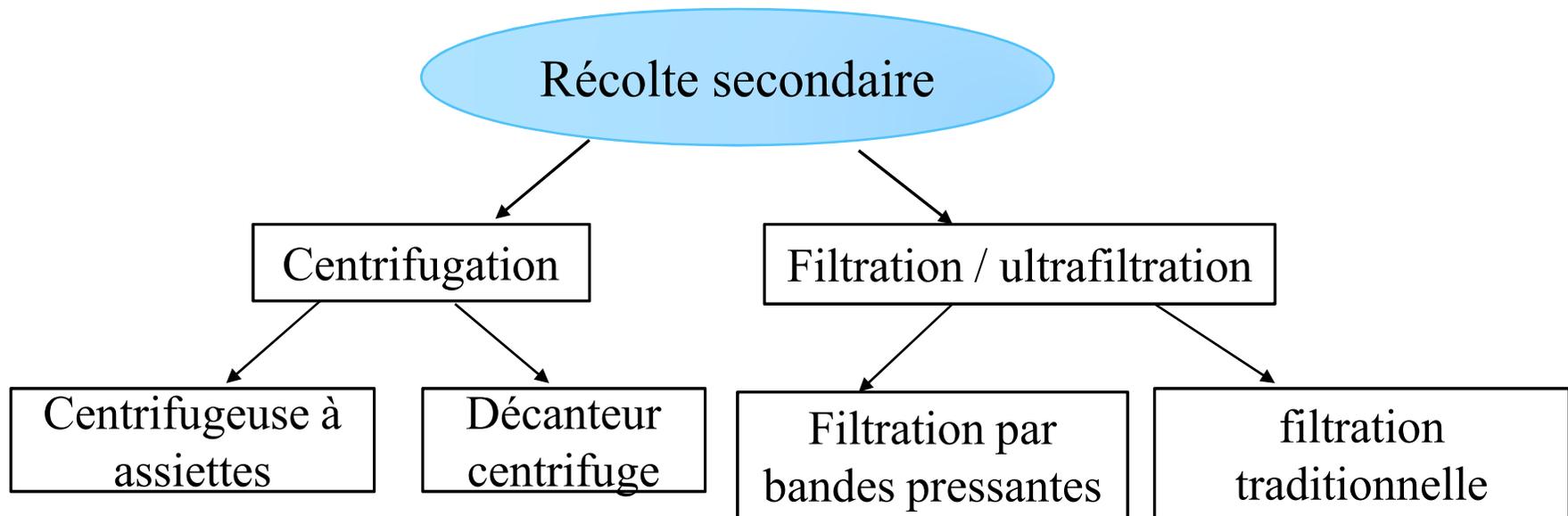




La bioflocculation par l'ajout des bactéries filamenteuses (3)



L'auto flocculation par modification du PH du milieu de culture (3)



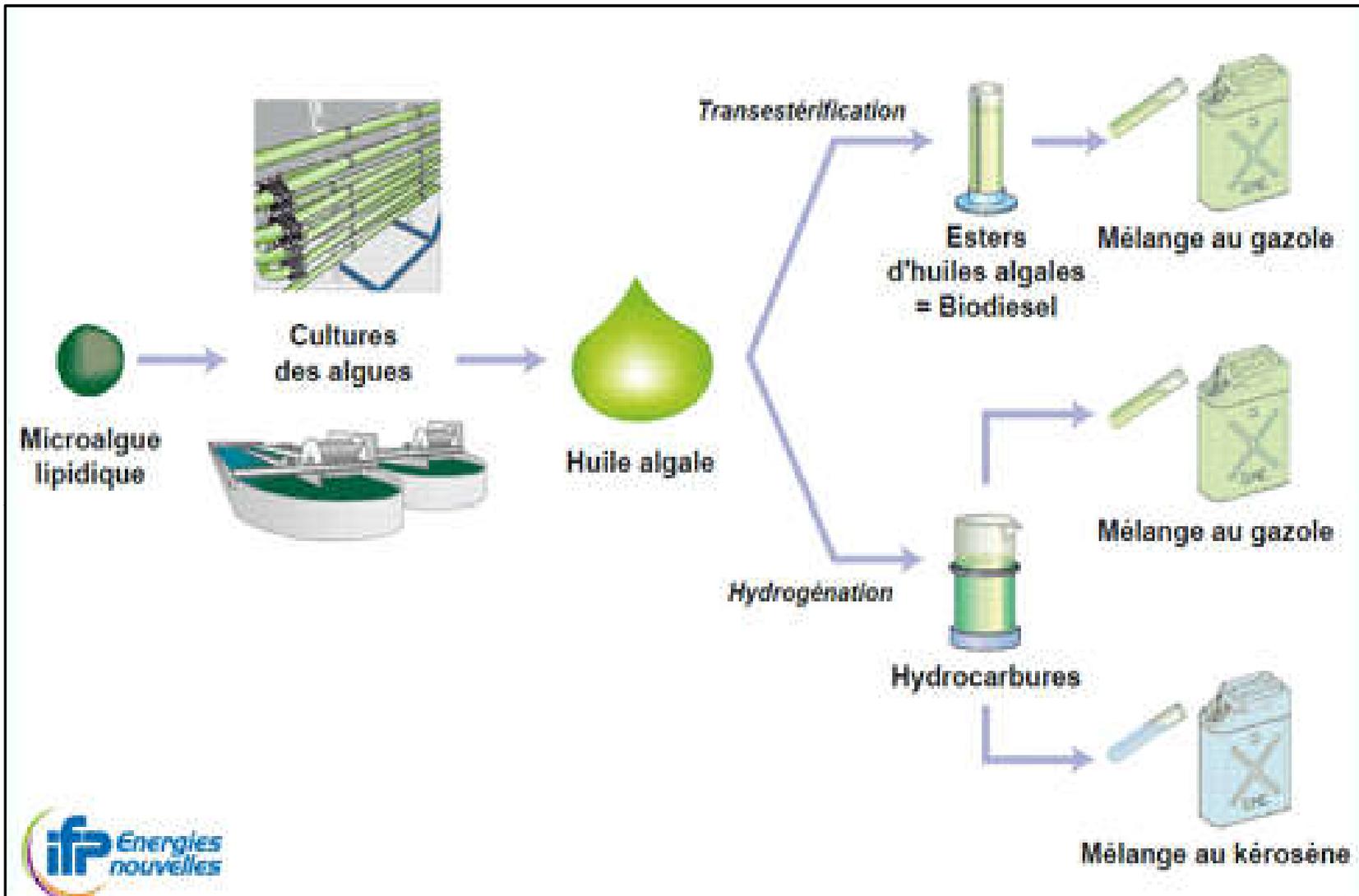
Extraction des lipides (*Chlorella Sp*)

- par solvant organique.
 - par CO₂ « supercritique»
-

Conversion de l'huile en biocarburant. Il existe deux méthodes :

-La transestérification: est la transformation d'huile en biodiesel, ces huiles à base de micro-algues sont mélangées à froid à un alcool, l'éthanol ou le méthanol, en présence d'un catalyseur basique ou acide.

-l'hydrogénation catalytique: qui fait réagir l'huile en présence d'hydrogène. La réaction d'hydrogénation est suivie d'un hydrocraquage. On produit alors des hydrocarbures qui peuvent être incorporés en quantité importante au gazole ou au kérosène.



Les biocarburants issus de micro algues lipidiques (2)

Les avantages et les inconvénients

Avantages

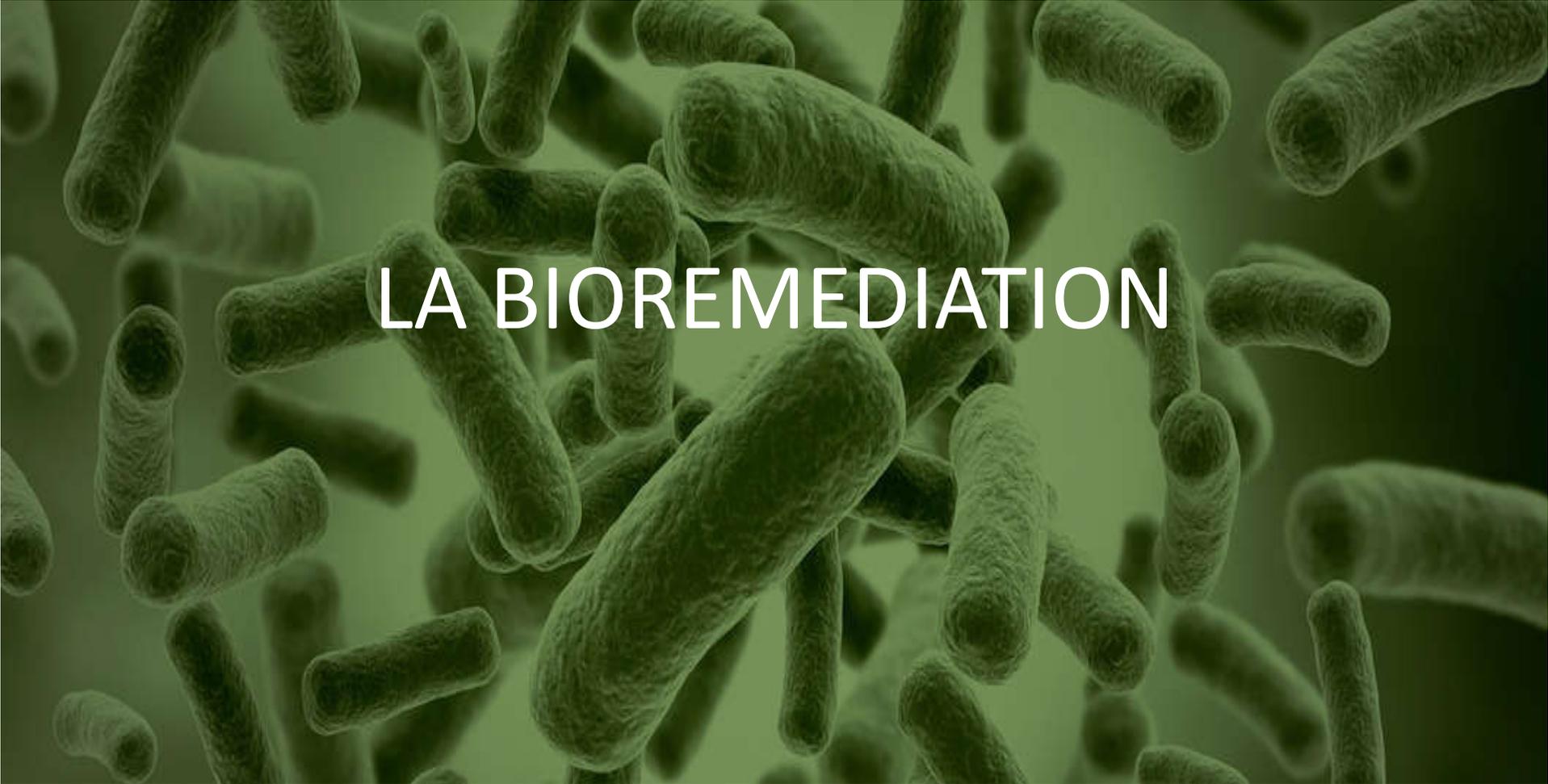
- Productivité surfacique élevée
- Recyclage de déchets industriels (CO₂).
- l'eau douce n'est pas nécessaire, il est possible d'utiliser de l'eau usée.
- ne pas rentrer en conflit avec la chaîne alimentaire.
- réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Inconvénients

- Pas d'amélioration génétique (adaptation aux systèmes de culture).
- Systèmes de culture et de récolte très chères.

Les biocarburants à partir d'autres microorganismes:

- **Les bactéries:** chez les bactéries le taux en lipides est généralement assez faibles (20 à 40%). Exemples: *Escherichia coli*, *Clostridium thermo hydrosulfuricum*, *Bacillus*, *Klebsiella oxytoca*.
- **Les levures :** les souches utilisées peuvent être choisies en fonction de leur capacité naturelle à stocker les lipides, EX: *Candida*, *Cryptococcus*, *Rhodotorula*, *Rhizopus*.
- **Les champignons:** sont également considérés comme des microorganismes favorables pour la production de lipides, EX: le champignon filamenteux *Mortierella alliacea*

A microscopic view of numerous rod-shaped bacteria, likely Bacillus or Clostridium species, appearing as green, textured cylinders. The bacteria are scattered across the frame, with some in sharp focus and others blurred in the background. The overall color palette is a monochromatic green.

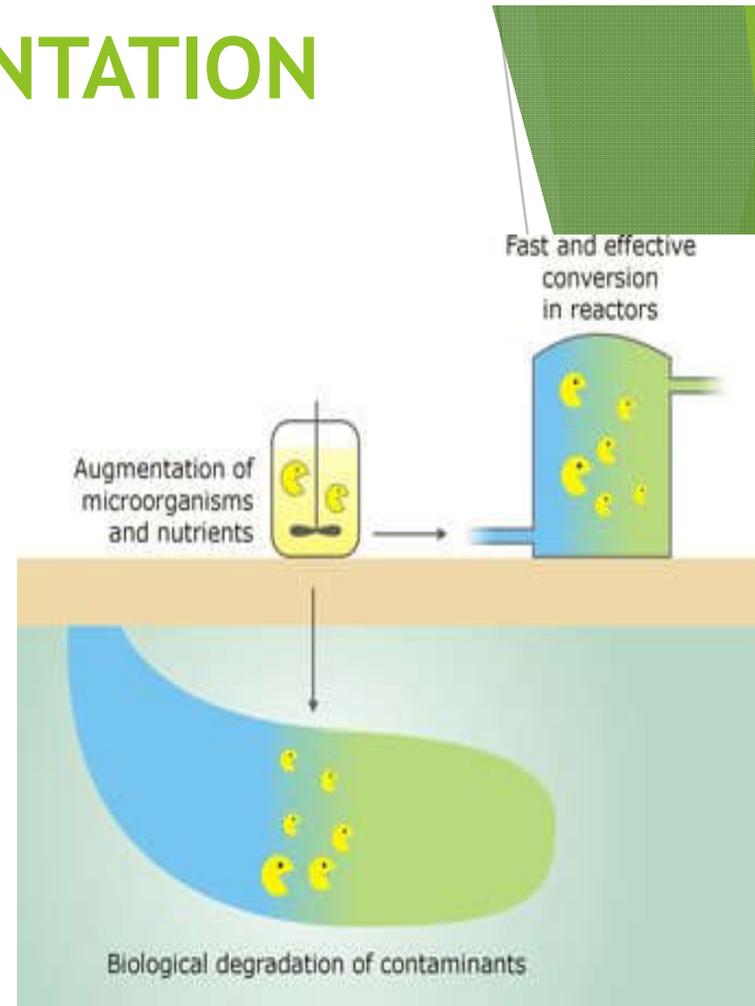
LA BIOREMEDIATION

PRINCIPE DE LA BIOREMEDIATION

- ▶ Le procédé de la bioremédiation consiste à activer la capacité naturelle que possèdent de nombreux organismes, la plupart des temps microscopiques, à dégrader les polluants en composés inertes, comme l'eau et le gaz carbonique. Ces organismes peuvent être indigènes (déjà présents dans la zone polluée), ou exogènes (ajoutés au milieu), ou encore être prélevés sur le site contaminé, cultivées au laboratoire puis réintroduits dans le sol (bioaugmentation).
- ▶ La bioremédiation se déroule généralement en condition d'aérobie, cependant l'application de systèmes de bioremédiation en condition d'anaérobie permet la dégradation d'un certain nombre de molécules récalcitrantes.

LA BIOAUGMENTATION

- ▶ Cette technologie consiste à introduire des cultures de microorganismes à la surface du milieu contaminé dans l'objectif d'augmenter la biodégradation des contaminants organiques.
- ▶ Généralement les microorganismes sont sélectionnés sur la base de leur aptitude à dégrader les composés organiques présents dans le site à dépolluer. La culture peut comprendre une ou plusieurs espèces de microorganismes. Des éléments nutritifs sont généralement apportés dans la solution contenant les microorganismes. Cette suspension de microorganisme est apporté à la surface du sol dans les conditions naturelles ou injecte dans le site contaminé sous pression.
- ▶ Cette technologie est largement utilisée pour décontaminer les sites contenant des hydrocarbures : Les microorganismes choisis sont des bactéries dotées d'une grande capacité de digestion de ces hydrocarbures.

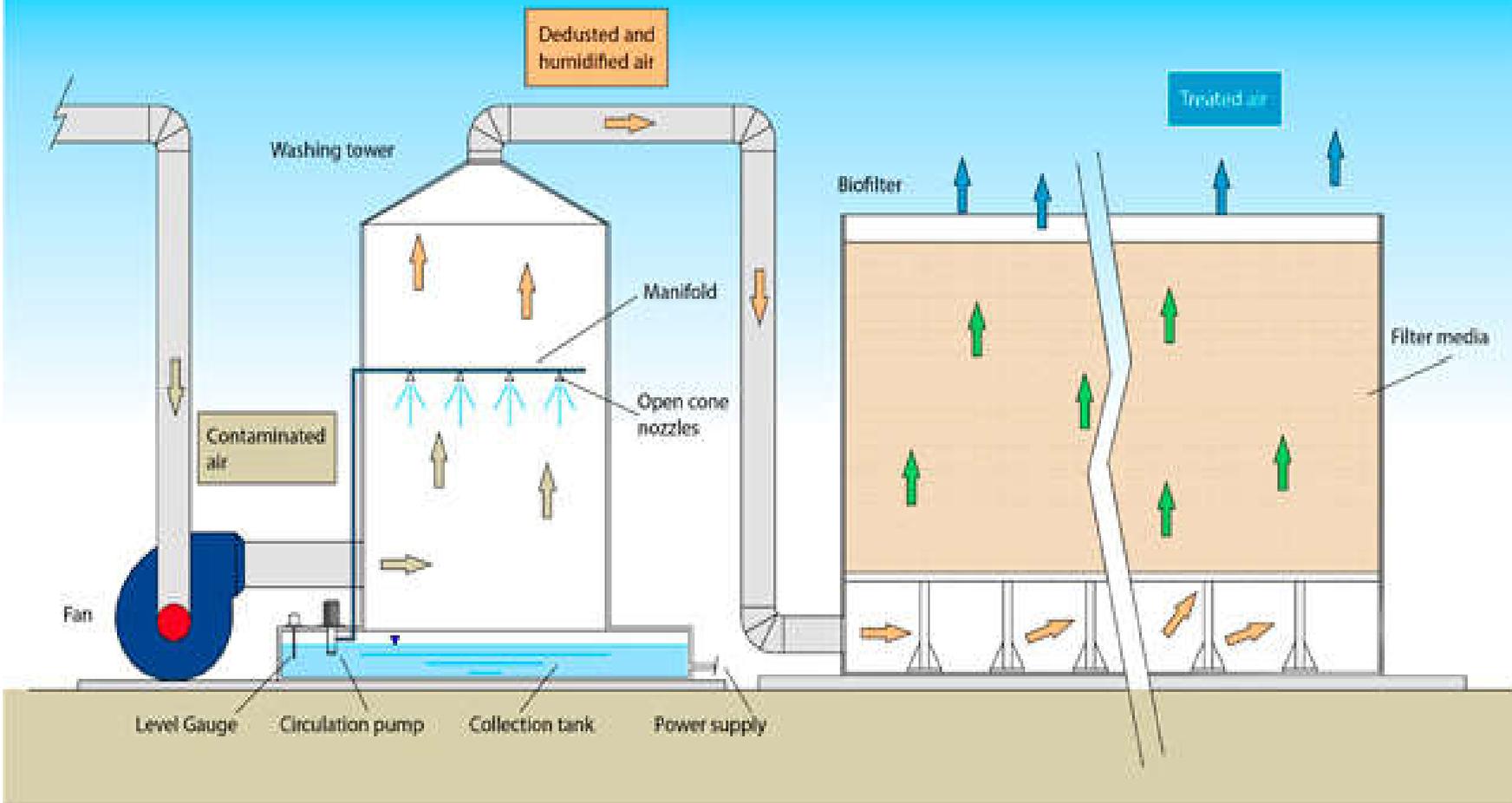


LA BIOFILTRATION

- ▶ consiste à l'utilisation d'un biofiltre pour traiter les émissions gazeuses
- ▶ Le principe consiste à utiliser des microorganismes pour dégrader les polluants contenus dans l'air à traiter : la phase aqueuse (l'air contaminé) est mise en contact avec une phase aqueuse dans laquelle se développe la population microbienne, connue aussi sous le nom de la biomasse.
- ▶ Dans une unité de biofiltration, l'air à épurer (à dépolluer) traverse d'abord un filtre et un humidificateur afin de supprimer les particules (poussières, graisses) présentes dans le gaz et d'amener le niveau d'humidité à 100%. L'air est ensuite introduit dans un réacteur (une cuve) contenant un garnissage formé de matériaux très poreux (très avide pour l'humidité). A la surface des particules qui constituent le garnissage se trouve un biofilm qui correspond à une pellicule d'eau contenant des microorganismes (bactéries et champignons) dont la fonction est de dégrader les polluants présents dans l'air à traiter.
- ▶ Cette technologie est par exemple utilisé pour traiter l'air polluer par le xylène ou par des composés azotés

Biofiltration

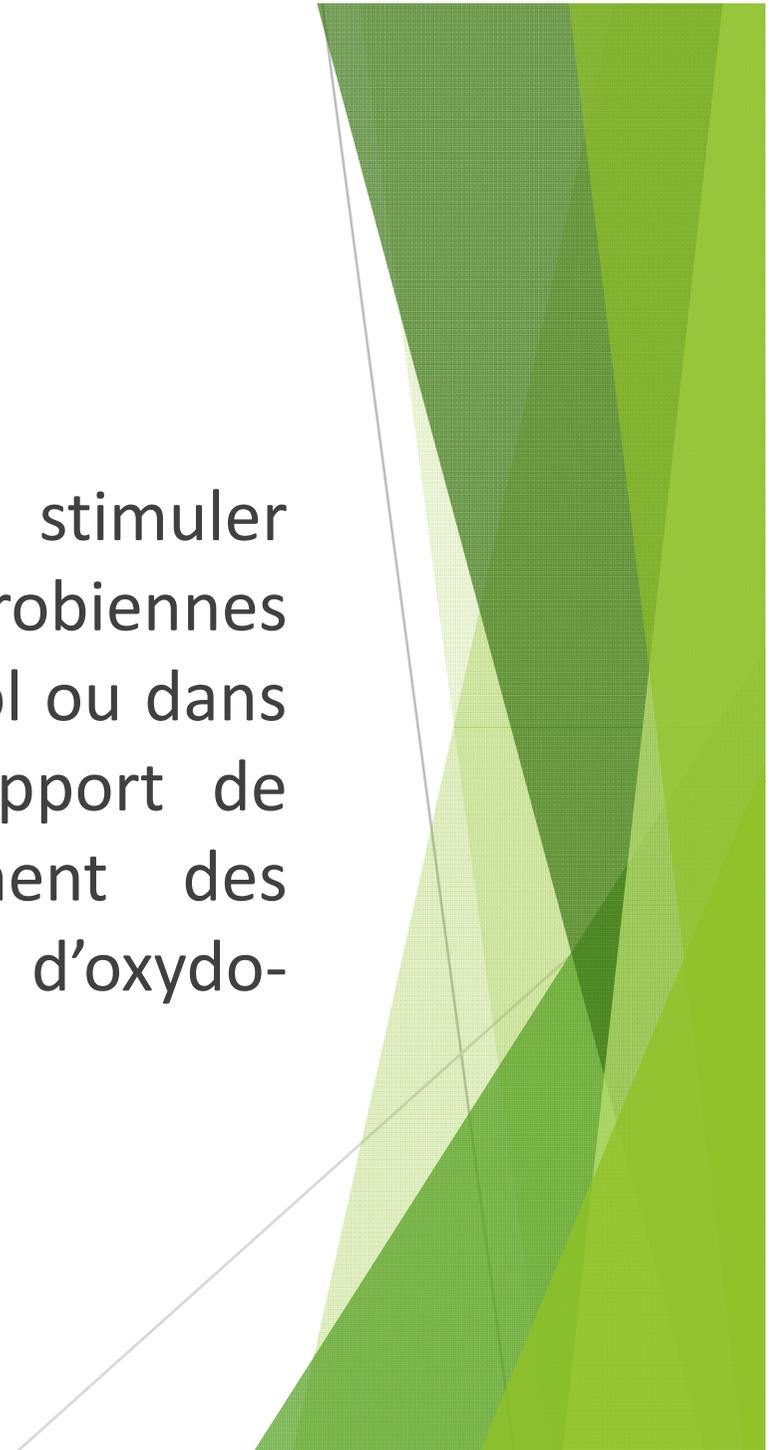
FUNCTION SCHEME

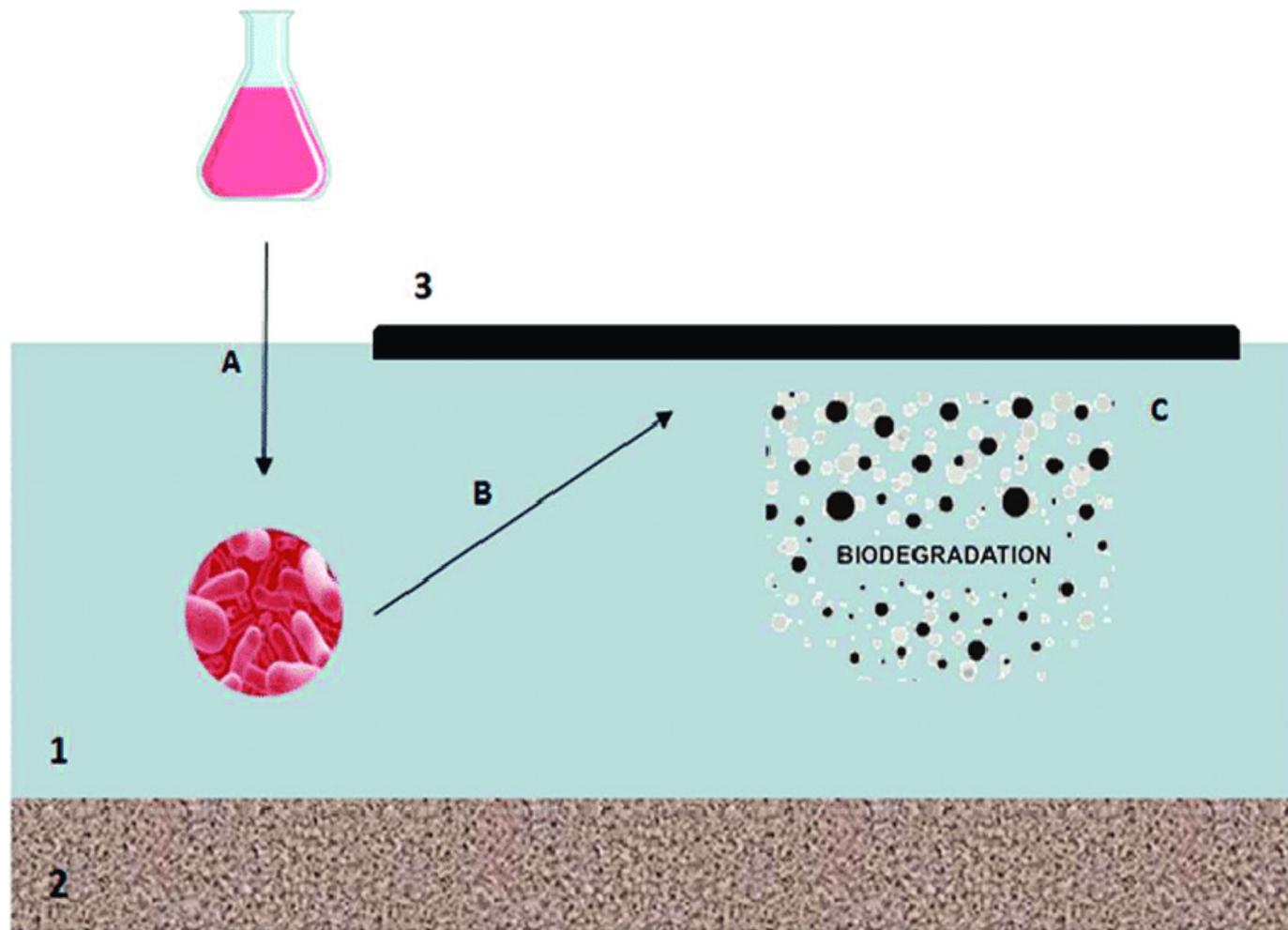


+ Ecology - Disposal costs

LA BIOSTIMULATION

- ▶ Cette technologie consiste à stimuler l'activité des populations microbiennes indigènes (présentes dans le sol ou dans les eaux souterraines) par apport de nutriments et par ajustement des conditions du milieu (potentiel d'oxydo-réduction, humidité).

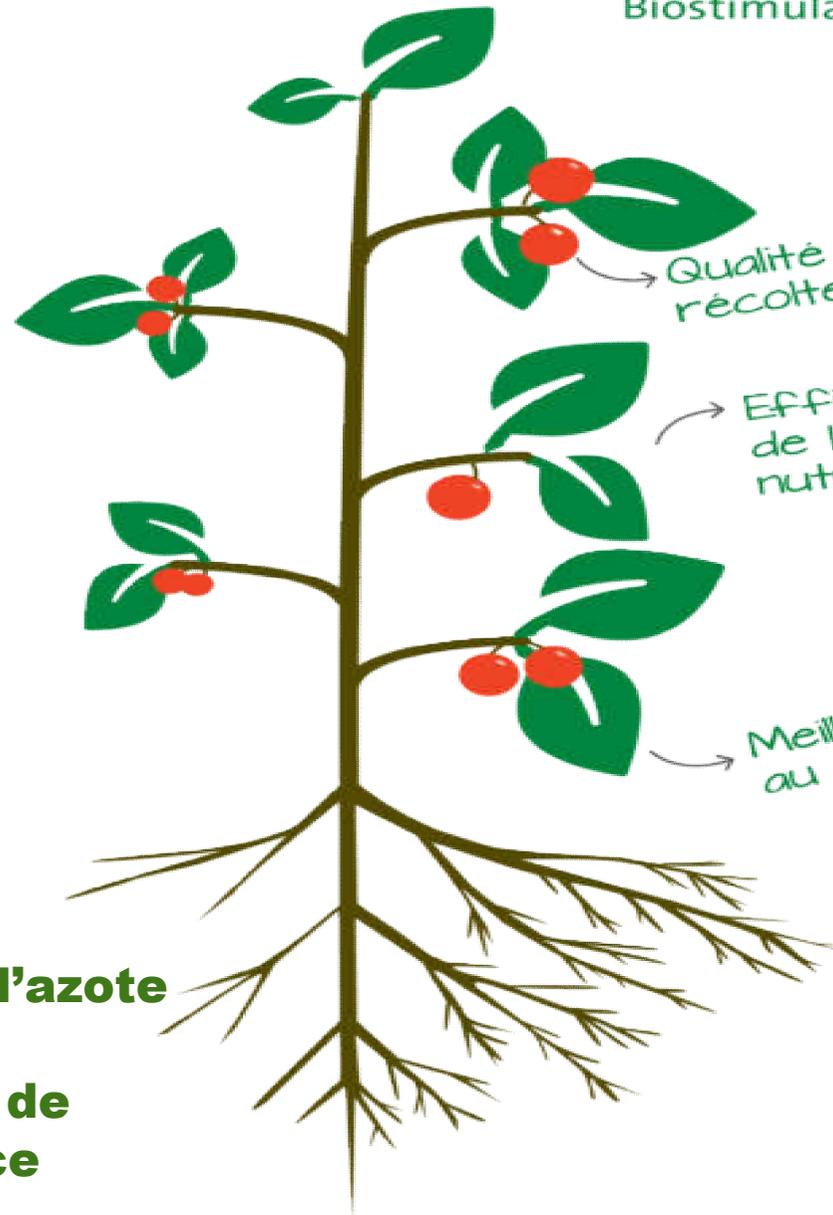




Schematic description of bioremediation (biostimulation) process. 1: Seawater; 2: marine sediment; 3: crude oil.

Nutrition

Nutrition et
Biostimulation



Qualité des
récoltes améliorée

Efficacité accrue
de l'utilisation des
nutriments

Meilleure tolérance
au stress abiotique

Fixation d'azote

**Hormone de
croissance**

LE COMPOSTAGE

- ▶ peut être défini comme un procédé biologique contrôlé qui assure la transformation et la valorisation des matières organiques (sous produits de la biomasse, déchets organiques d'origine biologique) en un produit stabilisé, hygiénique, semblable à un terreau riche en composés humiques le compost. C'est la fermentation des ordures ménagères organiques (résidus alimentaires) et des déchets verts (feuillages, résidus de jardinage) afin de produire un compost réutilisable en agriculture ou dans le jardin pour fertiliser la terre.





FEUILLES MORTES



ÉPLUCHURES DE FRUITS ET LÉGUMES



BROYAT DE BOIS ET BRINDILLES



FRUITS ET LÉGUMES ABÎMÉS



COPEAUX DE BOIS



ÉPLUCHURES ET RESTES D'AGRUMES



COQUILLES D'ŒUF ET BOÎTES EN CARTON



MARC, FILTRES ET DOSETTES SOUPLES DE CAFÉ



CARTONNETTES ET JOURNAUX DÉCHIRÉS



THÉ EN SACHETS OU EN VRAC



PAILLE ET HERBE SÈCHE



TONTES DE PELOUSE



COQUES DE FRUITS SECS



FLEURS ET MAUVAISES HERBES



L'aération et l'humidité sont deux éléments indispensables pour entretenir les conditions d'une bonne fermentation. Le compostage peut se faire chez soi ou collectivement par des procédés industriels.



Observation du composteur



Feuille entière



Feuille stérée



il ne reste que les nervures



Terreau

LA BIOLIXIVIATION

- ▶ C'est la lixiviation favorisée par la voie biologique (généralement bactérienne). Elle correspond à une méthodologie de solubilisation des métaux lourds grâce à des bactéries acidophiles fonctionnant en présence ou en l'absence d'oxygène. Deux facteurs sont importants pour la biolixiviation : la température qui doit être comprise entre 25 et 35 °C. La taille des particules qui doivent être très proches de celle des bactéries.

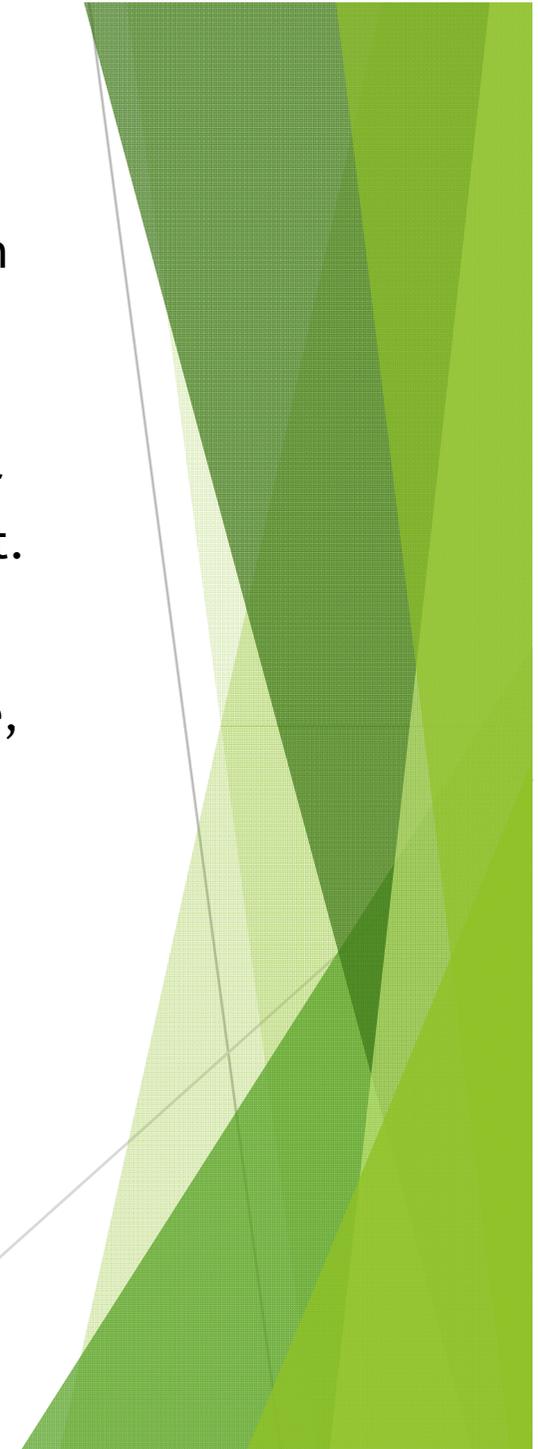
PROCEDE STATIQUE (IN SITU, EN AMAS, EN STALLE NOYEE)

Le principe est de faire transiter une solution acide, contenant les micro-organismes, à travers un minerai issu directement d'une mine. Ces procédés sont surtout utilisés pour l'extraction du zinc, du cuivre, du nickel et du cobalt.

Le mode in situ, qui consiste à placer le minerai concassé dans des vallons aux parois imperméables. L'ensemble est saturé par une solution acide (pH 2-3), sous aération, afin de récupérer le métal dissous à la base du vallon.

Le mode « en amas » consiste à arroser la surface d'un amas de minerai par une solution acide, puis de récupérer après percolation, la solution contenant le métal d'intérêt.

Le troisième mode, dit en « stalle noyée », repose sur l'inondation du minerai dans la solution bactérienne acide, ce qui augmente la surface de contact entre les bactéries et le minerai, mais au détriment d'un mauvais échange gazeux d'O₂ et de CO₂, nécessaires à l'oxydation des sulfures et à la croissance des bactéries



Après extraction d'une mine à ciel ouvert, concassage et agglomération, une opération qui vise à améliorer les caractéristiques de percolation, le minerai est mis en tas et le traitement par arrosage a lieu en deux temps. La reprise du premier tas a pour objectif de permettre l'attaque plus poussée des zones du minerai qui n'auraient pas été suffisamment mises en contact avec les solutions de percolation, comme les pentes par exemple. La solution mère de biolixiviation est ensuite traitée à l'aide de sulfure d'hydrogène pour produire successivement des précipités de chacun des métaux à récupérer (cuivre, zinc, puis nickel et cobalt). La réaction d'oxydation de la pyrrhotite contenue dans ce minerai étant très exothermique, la température à l'intérieur du tas peut s'élever considérablement jusqu'à près de 80 °C, et même dans les conditions climatiques rigoureuses de l'hiver finlandais, l'efficacité du traitement se maintient. Le nickel et le zinc sont les métaux les plus facilement extraits à 85 et 80 % respectivement en cinq années de traitement, et le cuivre et le cobalt les plus réfractaires avec un taux d'extraction de 50 % pour la même période. L'installation de Talvivaara devrait avoir les plus faibles coûts opératoires de production de nickel à partir de ressources primaires pour une production annuelle de 30 000 tonnes de métal.

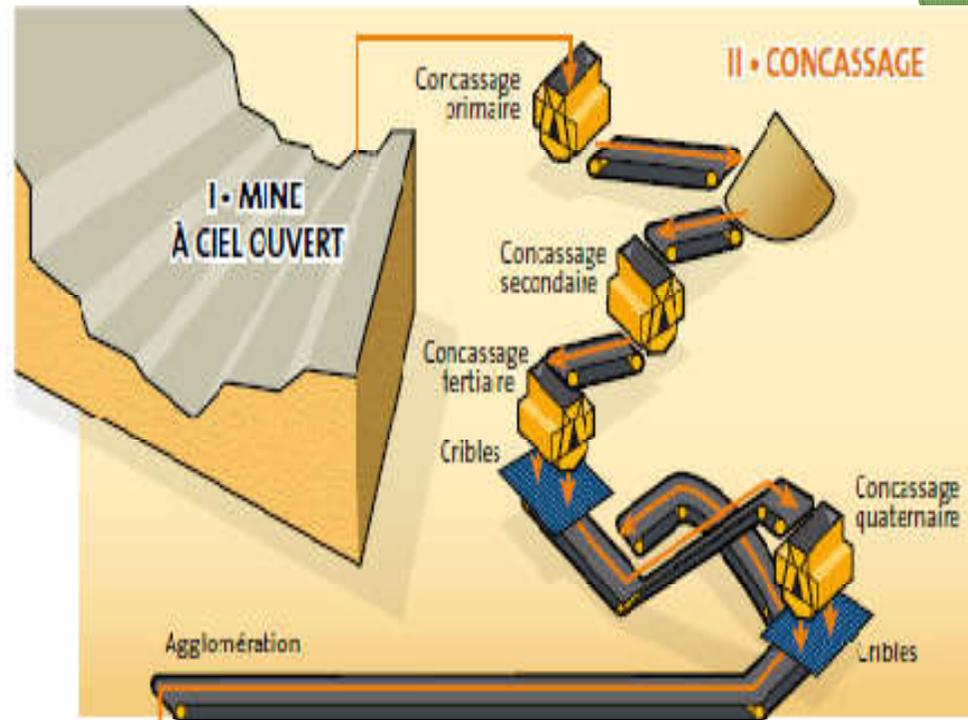
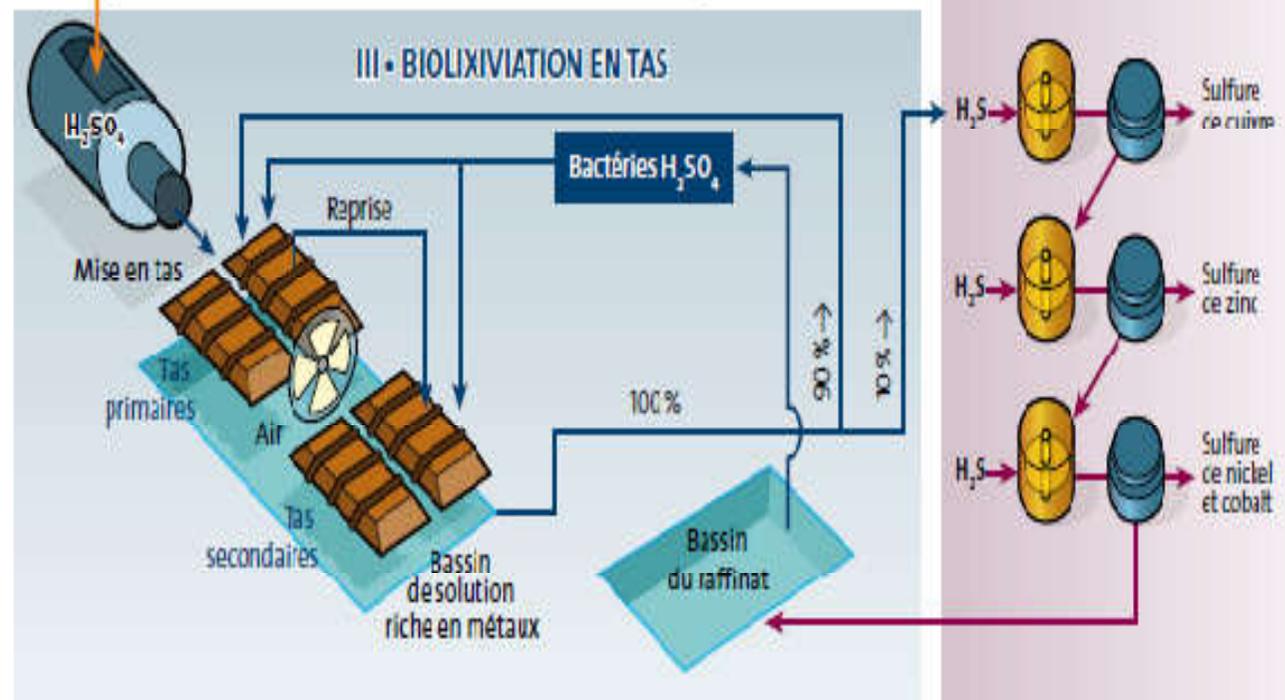


Fig. 4 : Photo et schéma simplifié du traitement du minerai de nickel de Talvivaara (Finlande) exploité par la société TVK.

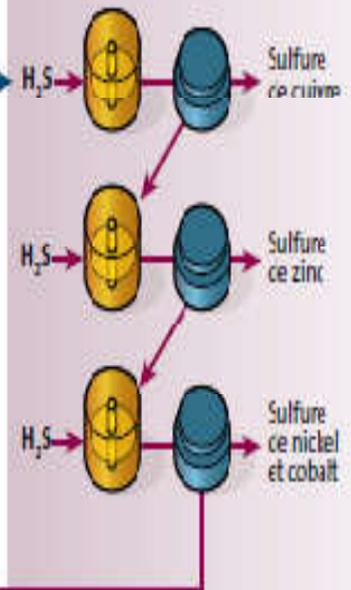
© D'après le site Internet TVK : http://www.talvivaara.com/operations/talvivaara_operations/?processing.

Fig. 4 : Photo and simplified diagram illustrating how nickel ore is processed at the Talvivaara plant operated by the company TVK in Finland.

© From the TVK web site: http://www.talvivaara.com/operations/talvivaara_operations/?processing.



IV • RÉCUPÉRATION DES MÉTAUX

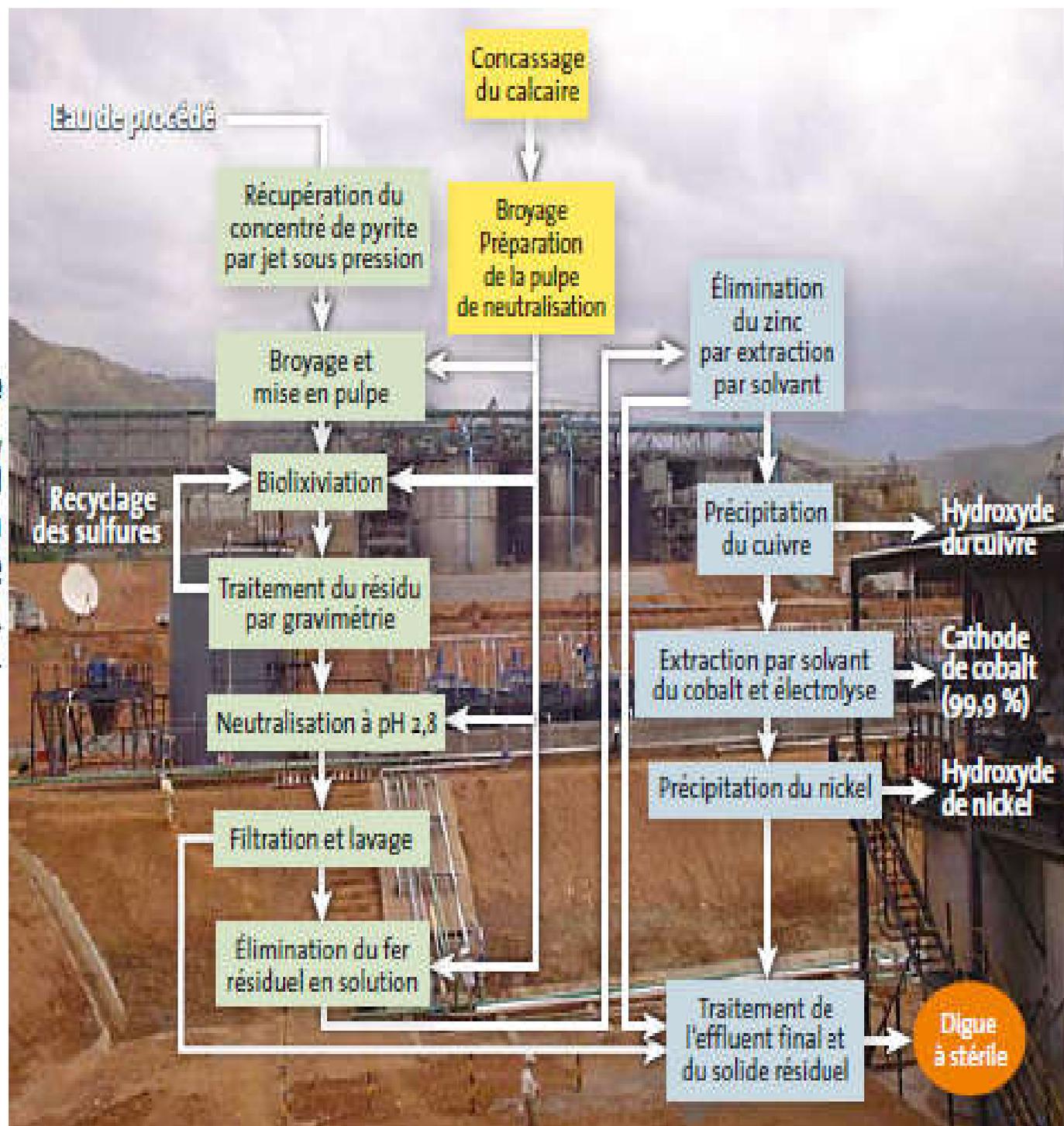


PROCEDE DYNAMIQUE (réacteurs
parfaitement agités, AIR-LIFT,
colonnes à bulles)

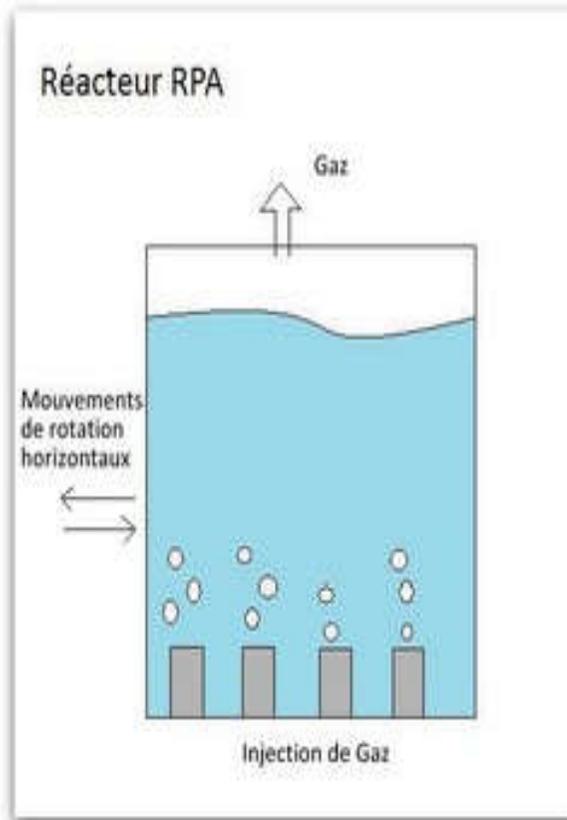
Le minerai préalablement broyé et
mêlé à la solution bactérienne,
est mis sous agitation dans un
réacteur, afin de faciliter les
échanges gaz/liquide/solide

L'autre voie d'application de la biolixiviation, dite *dynamique*, commence par un broyage fin du minerai, la concentration des sulfures porteurs du métal d'intérêt et ensuite le traitement par biolixiviation proprement dit, dans une série de cuves, du concentré sulfuré mis en pulpe dans une solution aqueuse. Chacune des cuves est agitée par un système mécanique et oxygénée par injection d'air.

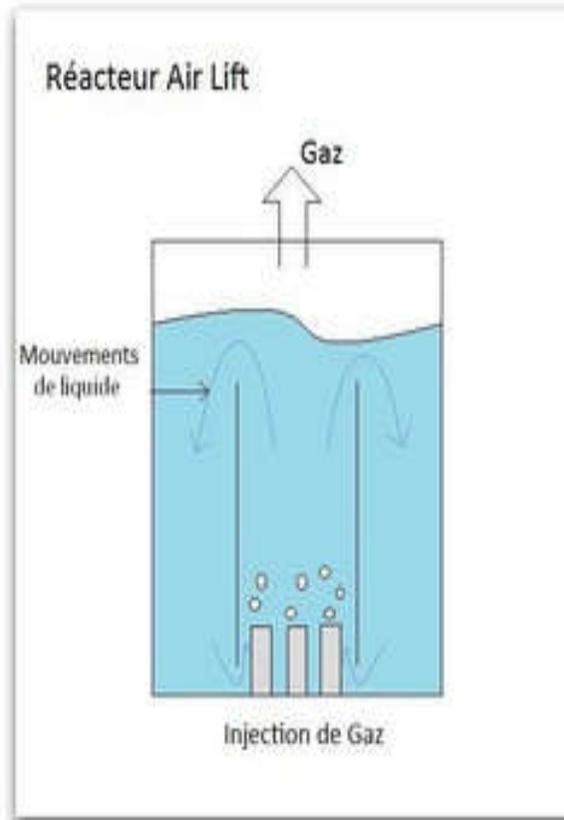
La solution aqueuse issue du biotraitement est débarassée du fer dissous par neutralisation ménagée à



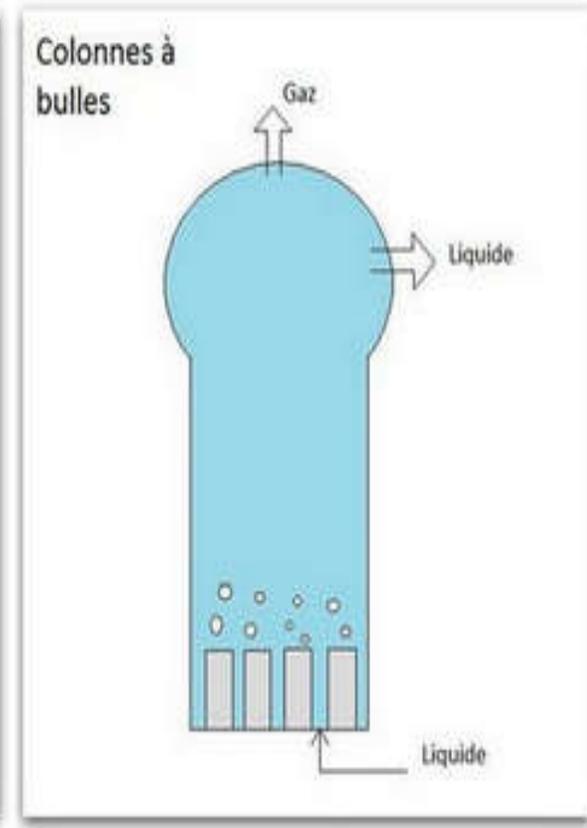
3 Procédés différents



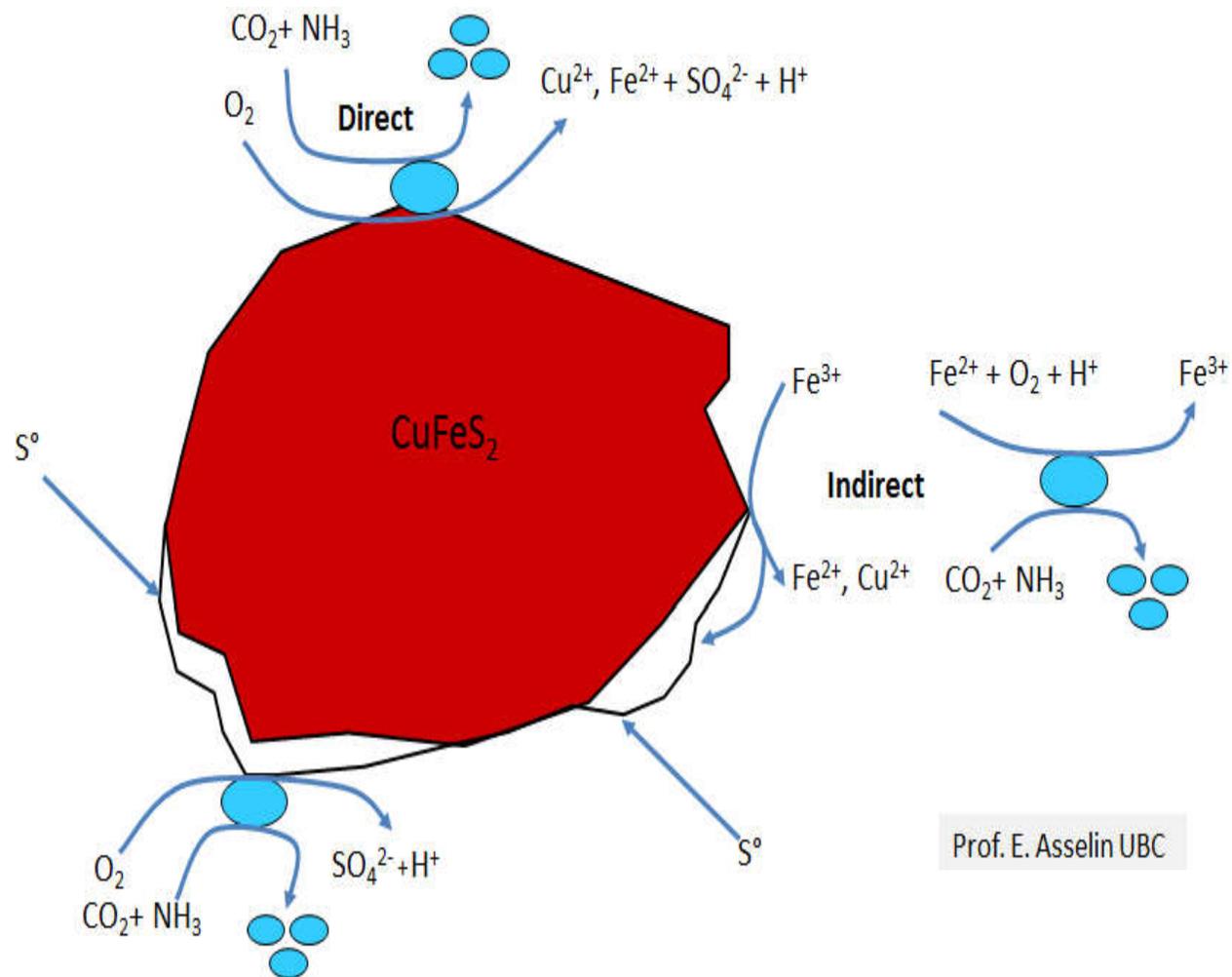
Le réacteur parfaitement agité, est le seul applicable à l'échelle industrielle. Il s'agit d'un bioréacteur mis sous agitation mécanique, dans lequel de l'air est injecté au fond de la cuve pour aérer le milieu.



Le réacteur « air-lift », formé de deux compartiments communiquant, permet de créer des mouvements de fluide, grâce à l'aération d'un seul compartiment



la « colonne à bulles » est un réacteur en forme de tube dans lequel le gaz est introduit par un distributeur. Le liquide est ensuite pompé vers le haut à la différence des réacteurs air-lift



Prof. E. Asselin UBC

2 processus élémentaires

- Oxydation directe par la bactérie en surface du grain (du cuivre, du soufre)
- Oxydation indirecte

Les microorganismes utilisés en bioremédiation

- ▶ Parmi les bactéries aérobies reconnues pour leur pouvoir de dégradation, nous pouvons citer celles appartenant aux genres *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Sphingomonas* et *Mycobacterium*.
- ▶ Elles peuvent dégrader les pesticides, les hydrocarbures, les alcanes et les composés polyaromatiques. Souvent, elles utilisent le polluant comme source de carbone et d'énergie.
- ▶ Les bactéries anaérobies sont moins fréquentes que les aérobies.
- ▶ Cependant, elles présentent un grand intérêt dans la bioremédiation des polyphényles polychlorés, du trichloroéthylène et le 1,2 dichloroéthane. Dans tous les cas, l'opération implique le contrôle non seulement de la disponibilité des dépollueurs mais aussi l'ajustement en permanence des conditions de leur efficacité: quantité et type de nutriments, concentration en oxygène, pH, température et salinité.