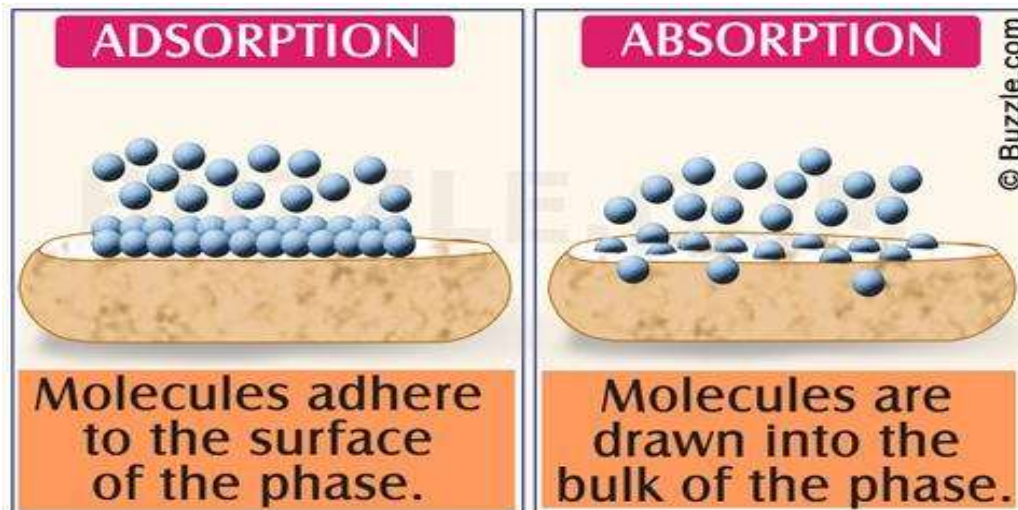


IV. Procédés physico-chimiques

IV.5. Adsorption

L'**adsorption** est un phénomène physico-chimique de fixation de molécules sur la surface d'un solide.

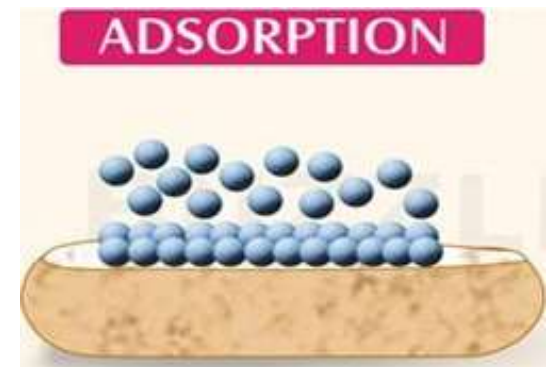
Elle est utilisée pour "récupérer" des molécules indésirables dispersées dans un solvant.



IV. Procédés physico-chimiques

IV.5. Adsorption

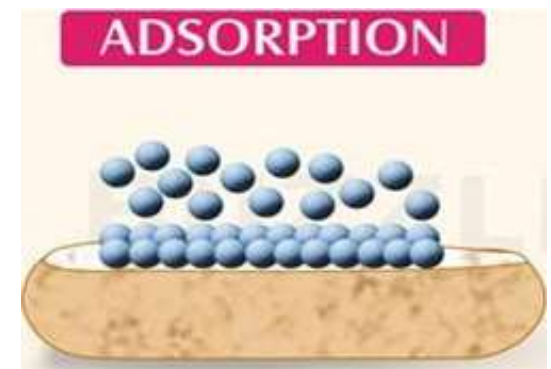
- + L'adsorption définit la propriété de certains matériaux de **fixer à leur surface** des ions ou des molécules (gaz, métaux, molécules organiques...) d'une manière plus ou moins réversible.
- + Le terme surface correspond à la totalité de la surface du solide, c'est-à dire surface géométrique pour un solide non poreux, à laquelle s'ajoute la surface interne des pores accessible aux molécules dans le cas d'un matériau poreux.



IV. Procédés physico-chimiques

IV.5. Adsorption

✚ Le polluant peut s'adsorber non seulement parce qu'il est attiré par le solide (par exemple pour former une liaison physique ou une interaction chimique), mais aussi parce que la solution peut le « rejeter » en raison de son hydrophobicité (dans le cas d'un polluant organique).



IV.5. Adsorption

V.5.1. Comment l'adsorption a-t-elle lieu ?

Il s'agit d'un transfert de particules (**adsorbats**) d'une phase liquide vers une phase solide (**adsorbant**) qui retient ces particules à sa surface. L'adsorption peut être décomposée en quatre étapes:

Etape 1	Transfert de la particule	Très rapide
Etape 2	Déplacement de l'eau liée jusqu'à être en contact de l'adsorbant	Rapide
Etape 3	Diffusion à l'intérieur de l'adsorbant sous l'influence du gradient de concentration	Lente
Etape 4	Adsorption par les micropores de l'adsorbant	Très rapide

IV.5. Adsorption

V.5.2. Système ternaire

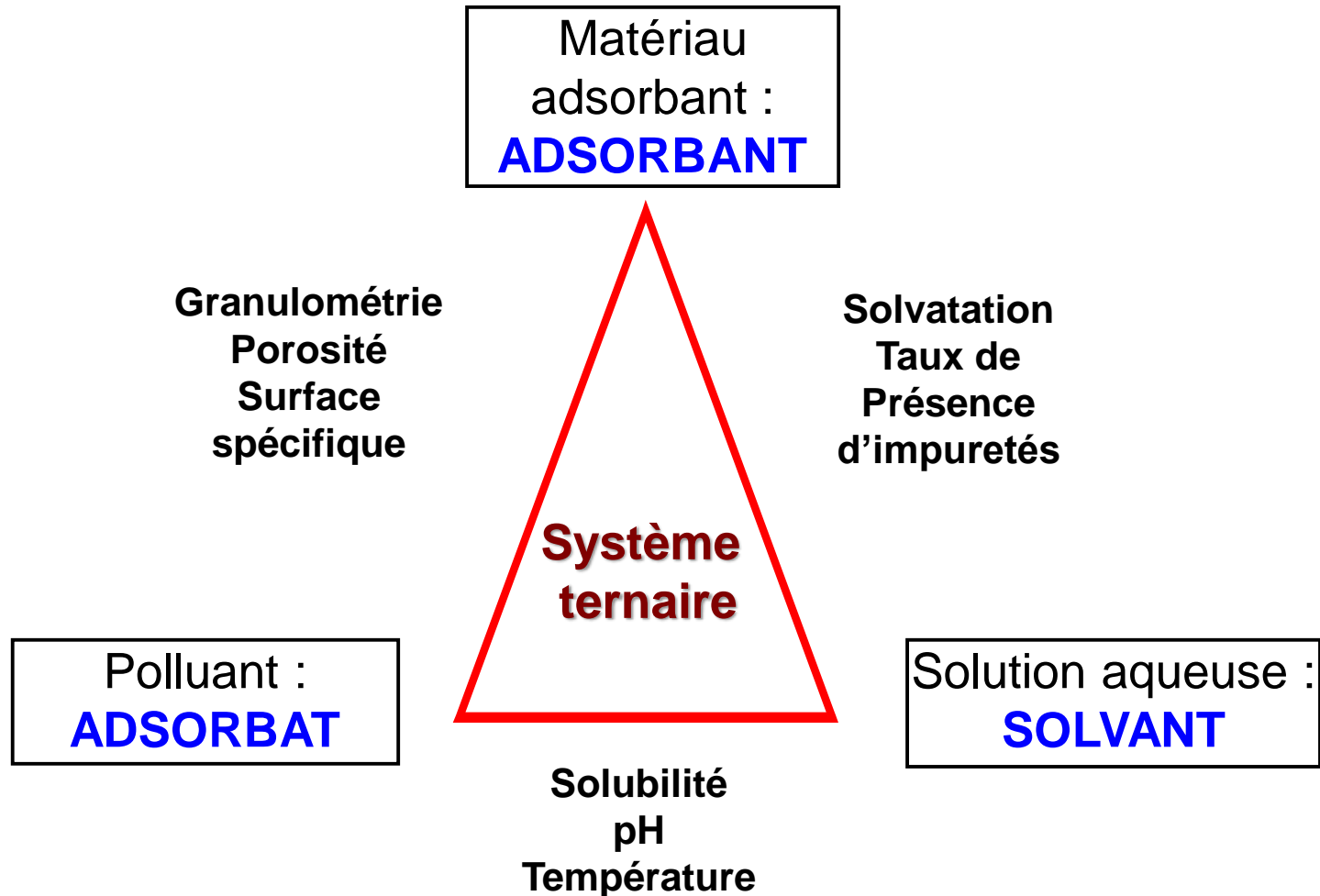
Adsorbant / Adsorbat / Solvant

✓ L'efficacité de la technique d'adsorption dépend non seulement des caractéristiques de l'adsorbant, mais aussi des différentes interactions existant entre :

- L'adsorbant et l'adsorbat,
- L'adsorbant et le solvant,
- L'adsorbat et le solvant,

C'est ce qui est nommé: **Système ternaire**, où chaque composant possède ses caractéristiques propres.

IV.5. Adsorption



Caractéristiques et interactions à prendre en compte dans un système ternaire adsorbant/adsorbat/solvant

IV.5. Adsorption

V.5.3. Capacité d'adsorption

La capacité d'adsorption d'un adsorbat dépend essentiellement de:

- La **surface développée** ou **surface spécifique** du matériau absorbant (exprimée en $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$):
 - Certains solides dans les milieux naturels (**argiles, silice...**) ont une bonne capacité d'adsorption et possèdent des surfaces spécifiques importantes;
 - Les adsorbants industriels (essentiellement les **charbons actifs**) développent des surfaces spécifiques bien supérieures à celles des absorbants naturels (600 à environ $2\,500 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$).

IV.5. Adsorption

V.5.3. Capacité d'adsorption

- ✚ De la **nature de la liaison adsorbat-adsorbant**, c'est-à-dire l'interaction entre les sites d'adsorption et la partie de la molécule (polluant) en contact avec la surface de l'adsorbant.
- ✚ Du **temps de contact** entre le solide adsorbant et les solutés : c'est le temps fourni pour permettre aux polluants de migrer jusqu'à la surface de milieu adsorbant.

IV.5. Adsorption

V.5.3. Capacité d'adsorption

✚ De la masse adsorbée de polluant par unité de masse d'adsorbant qui dépend de la concentration du polluant en phase aqueuse. En équilibre, elle peut être exprimée par la loi de Freundlich :

$$X/M = K.C_e^{1/n} \quad \text{où :}$$

X/m : Masse fixée de polluant par unité de masse de l'adsorbant

C_e : Concentration résiduelle du polluant dans le solvant

K et n : Constantes du couple adsorbat/adsorbant pour une température donnée maintenue constante pendant l'expérience.

IV.5. Adsorption

V.5.4. Charbon actif

- Le principal adsorbant utilisé est le charbon actif, obtenu à partir de matières organiques (bois, tourbe) carbonisées, puis activées.
- Il possède une grande surface d'adsorption d'environ $900\text{m}^2/\text{g}$ et peut être régénéré (par désorption).



IV.5. Adsorption

V.5.4. Charbon actif

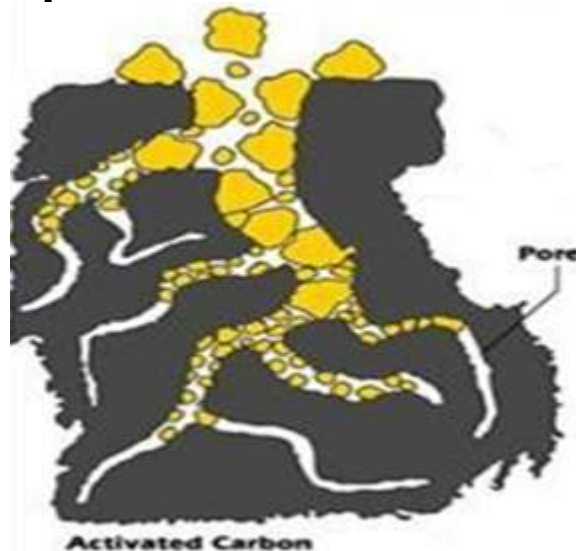
- ✿ Le charbon actif peut être obtenu soit sous forme de poudre (avec des pores de quelques μm de dimension), soit sous forme de grains.
- ✿ Pour le traitement de l'eau, on utilise en général du charbon actif en grains, en raison des possibilités de réactivation.



IV.5. Adsorption

V.5.4. Charbon actif

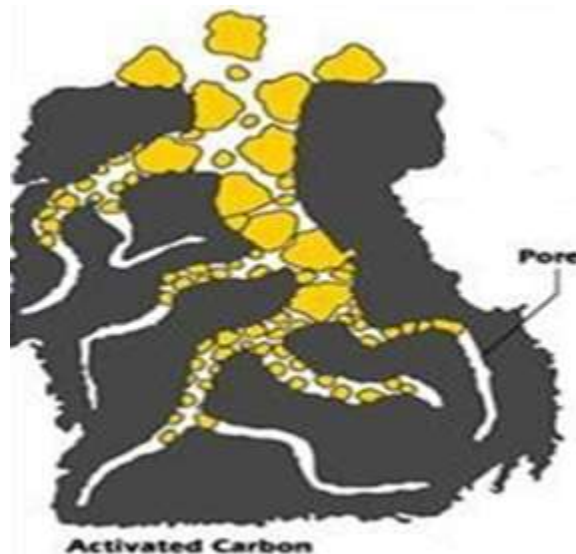
✱ L'adsorption sur charbon actif est destinée à traiter des matières organiques réfractaires, ne se trouvant pas en quantité trop importante, car cela saturerait trop rapidement les surfaces adsorbantes et nécessiterait une régénération coûteuse et fréquente.



IV.5. Adsorption

V.5.4. Charbon actif

- ✱ Ce type de procédés physico-chimiques intervient généralement au niveau tertiaire dans les chaînes de traitement des eaux usées (traitement d'affinage).



IV. Procédés physico-chimiques

IV.6. Précipitation

- ✚ La précipitation chimique est la technologie la plus courante pour retirer les métaux dissous (ioniques) des solutions.
- ✚ Ces métaux sont convertis en une forme insoluble (particule) par la réaction chimique se produisant entre les composés des métaux solubles et le **réactif précipitant**.

IV. Procédés physico-chimiques

IV.6. Précipitation

- + Une méthode de mélange rapide est souhaitable pour disperser ce réactif précipitant dans la totalité du volume d'eau usée à traiter (utilisation des agitateurs).
- + Par la suite, un mélange lent est nécessaire pour tirer pleinement profit des précipitants chimiques appliqués.
- + L'avantage principal de la précipitation chimique est la modicité relative des investissements requis pour les bassins utilisés.

IV. Procédés physico-chimiques

IV.6. Précipitation

- ✚ En traitement des eaux, les précipitations chimiques sont principalement utilisées pour éliminer par insolubilisation un ou plusieurs composés minéraux qui gênent l'usage de l'eau.
- ✚ Elles regroupent des procédés basés sur l'application de la **loi d'action de masse** qui permet de définir l'équilibre d'un système réactionnel.

IV.6. Précipitation

IV.6.1. Loi d'action de masse

Un système réactionnel, soumis à une réaction chimique ayant atteint un équilibre, est caractérisé par le fait que les concentrations des réactifs de départ et des produits formés sont reliées par une expression dont la valeur est constante à une température donnée:

Constante d'équilibre de Guldberg et Waage
 (k_c)

IV.6. Précipitation

IV.6.1. Loi d'action de masse

Soit la réaction : $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ (1)

La loi d'action de masses dit que la vitesse d'une réaction est proportionnelle aux concentrations de chacune des substances réactantes.

La vitesse des réactions se produisant de la « gauche vers la droite » et de la « droite vers la gauche » sont :

$$v_1 = K_1[A]^a.[B]^b$$

et $v_2 = K_2[C]^c.[D]^d$

IV.6. Précipitation

IV.6.1. Loi d'action de masse

L'équilibre de cette réaction correspond à une égalité des vitesses V_1 et V_2 . Il résulte :

$$K_1[A]^a.[B]^b = K_2[C]^c.[D]^d$$

$$[C]^c.[D]^d / [A]^a.[B]^b = K_2/K_1 = K_c$$

K_c la constante d'équilibre de la réaction (1).

IV.6. Précipitation

IV.6.2. Application de la précipitation

La précipitation est une des fins du traitement physico-chimique qui peut s'appliquer aux eaux contenant :

- Des métaux précipitables sous forme d'hydroxydes métalliques (la méthode plus utilisée);
- Des composés précipitables par le calcium (sulfites, phosphates, sulfates...);
- Des composés précipitables sous forme de sels insolubles de fer ou complexables (sulfure, phosphate...);
- Des métaux et des sels toxiques ou indésirables (fluorures, sulfates, phosphates...).

IV.6. Précipitation

IV.6. 3. Précipitants utilisés

- ✚ La soude ou l'hydroxyde de sodium (NaOH) et la chaux éteinte ou l'hydroxyde de calcium (de formule brute Ca(OH)_2) sont utilisées couramment en raison de leur coût faible et leur capacité de former des précipités compacts .
- ✚ Elles provoquent la précipitation des métaux présents dans les effluents sous forme d'hydroxydes métalliques.



Soude



Chaux

IV.6. Précipitation

Inconvénients:

- Les volumes de boues générés par la précipitation sous forme d'hydroxydes sont importants et les étapes de séchage de ces boues sont coûteuses;
- La chaux, moins coûteuse, mais peut poser des problèmes de colmatage au niveau des installations industrielles (tuyauterie, filtres...)..

IV.6. Précipitation

✚ Dans une optique de recherche de la meilleure technique disponible pour le système de dépollution des eaux et l'optimisation des conditions de la précipitation, plusieurs réactifs pouvant être utilisés pour précipiter les métaux lourds dont les plus utilisés sont:

IV.6. Précipitation

Précipitants (familles et exp de composés)	Avantages	Inconvénients
Carbonates (carbonate de sodium Na_2CO_3)	• Traitement moins coûteux qu'à la soude	• Précipitation généralement incomplète
Borohydrures (Borohydrure de sodium NaBH_4)	• Boues compactes et facilement récupérables	• Surconsommation de réactifs dans certains cas
Sels ferreux (sulfate de fer FeSO_4)	• Précipités compacts et facilement récupérables	
Composés soufrés inorganiques (sulfure d'hydrogène H_2S)	• Précipités très peu solubles	<ul style="list-style-type: none"> • Problèmes de toxicité • Coût élevé • Dégagement d'odeurs • Difficultés de séchage des boues
TMT (Solution renfermant de l'organosulfure et du sel trisodique)	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de dégagement d'odeurs lors de son emploi • Efficace pour des métaux complexes 	<ul style="list-style-type: none"> • Cout élevé • Pas de réaction avec certains métaux

V. Clarification

✚ **La clarification** est l'ensemble des opérations qui permettent d'éliminer les matières en suspension (minérales et organiques) d'une eau brute ainsi qu'une partie des matières organiques dissoutes .

✚ C'est une étape indispensable pour le traitements des eaux. Elle permet d'obtenir une eau limpide par élimination de la turbidité.

✚ Généralement, l'eau après cette étape peut être rejetée dans la nature sans danger pour les écosystèmes. Mais, elle n'est pas encore tout à fait claire et elle n'est pas bonne à la consommation.

V. Clarification

- + Suivant les concentrations des différents polluants, on peut être amené à pratiquer des opérations de plus en plus complexes.
- + Généralement, cette étape est constituée, selon le besoin de traiteur, d'une combinaison des procédés suivants : **coagulation**, **floculation**, **décantation** et **filtration**.
- + Des combinaisons comme : coagulation /filtration, coagulation/floculation/décantation, double filtration, ...sont souvent utilisées.

V. Clarification

V.1. Coagulation

V.2. Flocculation

V.3. Décantation

V.4. Filtration

- + Ces différents procédés sont déjà traités dans ce cours.
- + D'autres techniques moins communes peuvent être utilisées également et forment l'un des éléments des combinaisons mentionnées. On cite :
 - Flottation
 - Centrifugation

V. Clarification

V.5. Flottation

✱ Contrairement à la décantation, **la flottation** est un processus de séparation que l'on applique à des particules dont la densité est inférieure à celle du liquide dans lequel elles sont contenues. Il y a trois types de flottation :

V. Clarification

V.5. Flottation

1. Flottation naturelle

Applicable si la différence de densité est naturellement suffisante pour la séparation.

2. Flottation induite / Flottation provoquée

Lors d'une flottation induite, on diminue artificiellement la densité des particules pour leur permettre de flotter. Cette opération est basée sur la capacité de certains liquides ou solides à se lier avec des bulles de gaz pour former des particules gazeuses ayant une densité inférieure au liquide.

V. Clarification

V.5. Flottation

3. Flottation aidée / Flottation assistée

On utilise ce terme lorsque des moyens extérieurs sont utilisés pour faciliter la séparation de particules qui flottent naturellement. On distingue deux types:

- **Flottation mécanique**: qui utilise de l'air dispersée avec production de bulles de 0,2 à 2 mm de diamètre;
- **FAD (Dissolved air flotation) / Flottation à l'air dissous** : qui utilise des bulles d'air très fines «microbulles» de 40 à 70 microns de diamètre.

V. Clarification

V.6. Centrifugation

✱ La **centrifugation** est un procédé de séparation qui utilise l'action de la force centrifuge pour permettre un dépôt accéléré des particules d'un mélange. Il y a deux principales phases distinctes qui sont formées dans l'enceinte durant la centrifugation:

V. Clarification

V.6. Centrifugation

1. Les sédiments: En général d'une structure qui n'est pas uniforme.

2. Le concentrât : (parfois appelé **centrifugat**) c'est à dire le liquide surnageant.

- Il est souvent clair mais parfois trouble due au fait de la présence de particules colloïdales très fines, qui ne sont pas facilement déposées.
- Cependant, il peut aussi se composer de plusieurs phases si le liquide contient des éléments de différentes densités.

V. Clarification

V.6. Centrifugation

- ✿ Cette technique est utilisée généralement pour des boues biologiques.
- ✿ Elle est en général utilisée pour des STEP moyennes (20 000 à 100 000 EH).
(EH= **Eq.Hab** = **équivalent habitant** : est la capacité maximale de traitement d'une installation d'épuration. Elle tient compte de l'eau utilisée par les habitants, mais aussi de celle de l'industrie et des services publics).
- ✿ Ce procédé est onéreux en investissement et en exploitation mais assure une excellente maîtrise des nuisances olfactives (mauvaises odeurs).

V. Clarification



Centrifugeuses

VI. Affinage

- ✿ Pour un perfectionnement de la qualité de l'eau traitée, on procède à l'affinage visant à éliminer les micropolluants qui existent déjà dans l'eau **ou** qui se sont formés au cours du traitement et qui n'ont pas été totalement abattus par les différents types de traitements antérieurs.
- ✿ Il a pour effet l'**oxydation** et la **biodégradation** des matières organiques et l'élimination de certains micropolluants. En outre, il améliore les qualités organoleptiques de l'eau (saveur, odeur, limpidité).

VI. Affinage

✱ Les traitements d'affinage de l'eau font intervenir généralement les procédés de:

- **Oxydation** (ozonation)
- **Adsorption** sur charbon actif
- **Filtration** sur membranes (généralement avec l'ultrafiltration ou la nanofiltration)

VI. Affinage

VI.1- Oxydation

Cette technique de traitement permet de:

- ✓ Précipiter des composés dissous (fer, manganèse, sulfures);
- ✓ Dégrader des composés organiques toxiques ou d'autres responsables de la couleur, de l'odeur et du goût de l'eau;
- ✓ Eliminer l'azote ammoniacal;
- ✓ Transformer des polluants non biodégradables en substances assimilables par les bactéries dans un traitement biologique ultérieur...

VI. Affinage

VI.1- Oxydation

- Le choix de l'oxydant à utiliser dans les différents cas de figure est dicté par :
 - ✓ Un pouvoir oxydant aussi élevé que possible;
 - ✓ Une bonne sélectivité vis-à-vis de la pollution ciblée ;
 - ✓ Des effets secondaires maîtrisés en terme de toxicité induite ;
 - ✓ Un coût de traitement associé non exagéré...

VI. Affinage

VI.1- Oxydation

- Elle est réalisée se fait généralement par l'utilisation de l'ozone (**ozonation**).
- L'**ozone** (O_3) , outre son grand pouvoir désinfectant (élimination des virus et des spores bactériennes), permet l'oxydation de certains micropolluants organiques (pesticides, composés aromatiques ...).
- Il est capable également de transformer les matières organiques naturelles en augmentant leur biodégradabilité (ces polluants sont ensuite éliminés par filtration).

VI. Affinage

VI.2. Adsorption sur charbon actif

VI.3. Filtration sur membranes

**Ces deux techniques sont déjà traitées
dans ce cours**

VII. Désinfection

✱ La plupart des microorganismes pathogènes est éliminée de l'eau lors des précédentes phases de traitement. Cependant, la désinfection de l'eau est encore nécessaire afin d'empêcher que l'eau potable soit nocive pour notre santé.

✱ La **désinfection** est un traitement qui permet d'éliminer les microorganismes susceptibles de transmettre des maladies (agents pathogènes)

Exp: bactéries pathogènes, virus, parasites protozoaires...

✱ Ce traitement n'inclut pas nécessairement la stérilisation, qui est la destruction de tous les organismes vivants dans un milieu donné.

VII. Désinfection

➡ On peut procéder à la désinfection en ajoutant à l'eau à traiter une certaine quantité d'un **produit chimique** (Chlore et ses dérivés en premier ordre) ou grâce à des **moyens physiques**.

Méthodes / Produits les plus utilisés pour la désinfection des eaux

Moyens physiques	Produits chimiques
Ebullition	Chlore (Cl)
Ultrasons	Dioxyde de chlore (ClO ₂)
Ultraviolets	Ozone (O ₃)
Rayons gamma	Chloramines (NH ₂ Cl)
...	Hypochlorite de sodium (NaClO) (eau de javel)
	Iode (I)
	Peroxyde d'hydrogène (H ₂ O ₂)
	Permanganate de potassium (KMnO ₄)...

VII. Désinfection

VII.1. Facteurs fondamentaux de la désinfection

Le taux de destruction des microorganismes par un désinfectant est fonction de plusieurs variables :

a) Température

- La température a une influence sur l'efficacité de la désinfection. Une hausse de la température augmente souvent la vitesse de la réaction et de la désinfection.
- Cependant, un seuil limite doit être respecté puisqu'au delà de cette limite, la température peut aussi décroître la désinfection, du fait que le désinfectant peut se décomposer et devenir volatil.

VII. Désinfection

VII.1. Facteurs fondamentaux de la désinfection

b) Influence de la concentration de désinfectant et du temps de contact

Selon la loi **cinétique d'inactivation des germes (Loi de Chick et Watson)**, l'inactivation des germes est directement proportionnelle au CT, produit de la concentration de désinfectant en mg/l par le temps de contact exprimé en min.

$$\log(N/N_0) = kCT$$

N et **N₀** = nombre de germes dans l'eau aux instants **t₀** et **t**

K = constante de réaction

VII. Désinfection

VII.2. Conditions d'utilisation d'un désinfectant

- Ne pas être toxique pour les humains ou les animaux;
- Être toxique à de faibles concentrations pour les microorganismes;
- Être soluble dans l'eau et former avec ce dernier une solution homogène;
- Être efficaces aux températures normales de l'eau;
- Être stable, facile à manipuler et à mesurer;
- Être vendu à un prix abordable;
- Ne pas réagir avec la matière organique autre que celle des germes à traiter...

VIII. Procédés biologiques

- ✿ Les prétraitements physiques permettent d'éliminer les fractions solides grossières, les sables et les graisses des eaux usées.
- ✿ Les procédés physico-chimiques permettent d'éliminer une partie de la fraction soluble.
- ✿ Mais seuls les traitements biologiques permettent, de façon acceptable sur le plan technico-économique, d'éliminer de façon très poussée la fraction soluble et organique de la pollution.

VIII. Procédés biologiques

✿ La pollution organique comprend une fraction biodégradable (DBO_5) et une fraction non biodégradable.

✿ Les traitements biologiques ne s'attaquent qu'à la fraction biodégradable de la pollution organique qui comprend :

- Des protides (protéines en général);
- Des glucides (sucres, amidons, cellulose);
- Des lipides et des graisses (esters d'acides gras et d'alcools plus ou moins complexes et plus ou moins insolubles dans l'eau et capables de former des émulsions très stables)...

VIII. Procédés biologiques

- ✿ Le traitement biologique des eaux usées est le procédé qui permet la dégradation des polluants grâce à l'action de micro-organismes. Ce processus existe spontanément dans les milieux naturels.
- ✿ Parmi ces micro-organismes, on trouve généralement des bactéries, des algues, des champignons et des protozoaires.
- ✿ Cette partie des êtres vivants microscopique, extrêmement riche, peut s'adapter à divers types de polluants qu'elle consomme sous forme de nourriture (substrats).

VIII. Procédés biologiques

- ✿ Le principe du traitement biologique est de provoquer une prolifération contrôlée de micro-organismes capables de dégrader les matières organiques apportées par l'effluent.
- ✿ Les micro-organismes responsables de l'épuration s'agglomèrent sous forme de floccs et se développent en utilisant les polluants comme substrat nécessaire à la production d'énergie vitale et à la synthèse de nouvelles cellules vivantes.

VIII. Procédés biologiques

- ✿ Cette technique peut s'effectuer en présence ou non d'oxygène (**voies aérobie / anaérobie**).
- ✿ Dans les deux cas, ce sont des micro-organismes adaptés au procédé qui se multiplient en absorbant la pollution organique (bactéries hétérotrophes assimilant les matières organiques).
- ✿ Les traitements aérobies sont les plus répandus, alors que les traitements anaérobies restent réservés, aux cas de pollution fortement concentrée pour laquelle l'apport d'O₂ en quantité suffisante pose un problème.

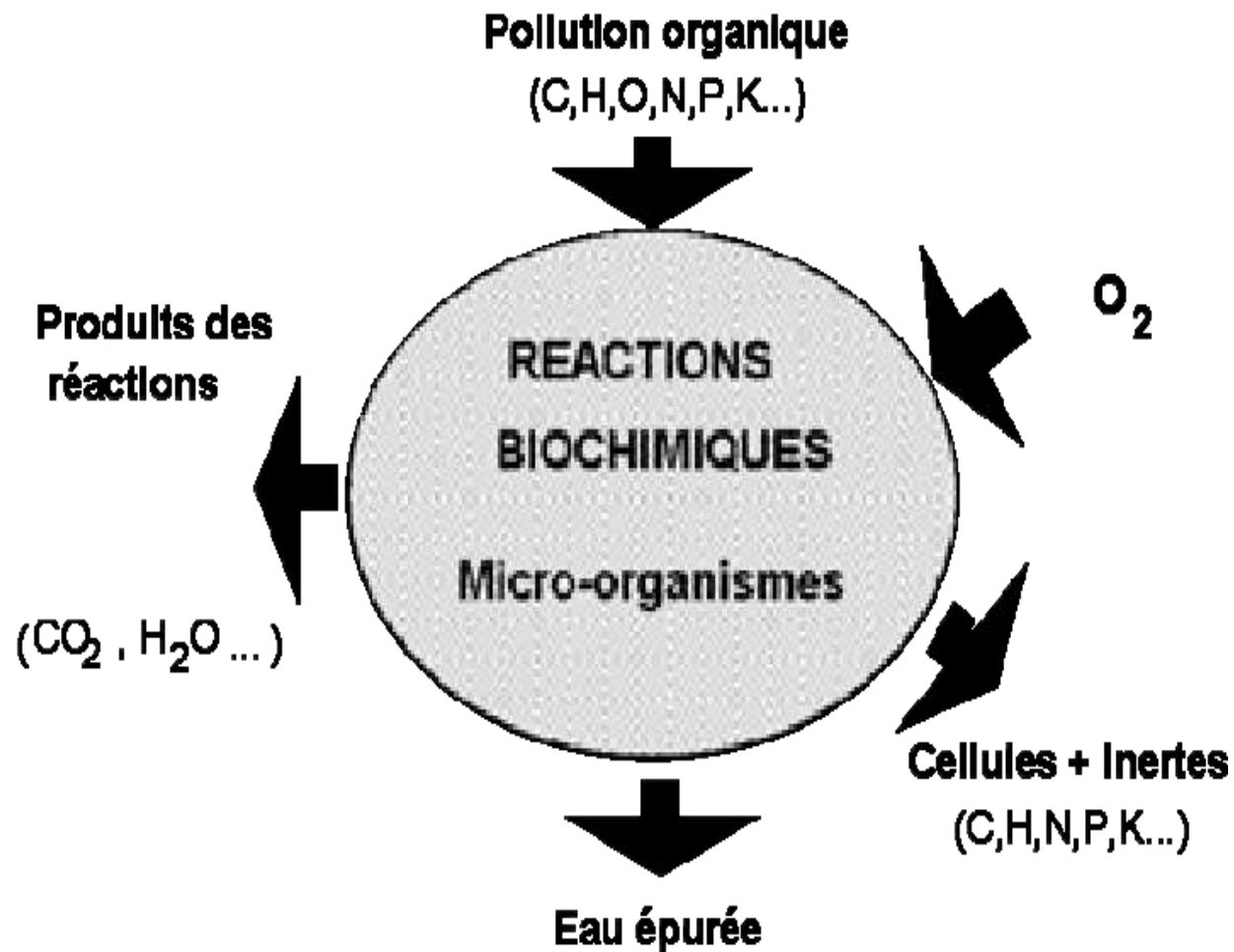
VIII. Procédés biologiques

VIII.1. Utilisation des micro-organismes aérobies

- ❖ Le principe général de ce procédé est de favoriser la croissance de communautés de bactéries aérobies, c'est-à-dire qui prélèvent l' O_2 pour leur métabolisme.
- ❖ Au cours de cette croissance aérobie, l'énergie prélevée de la transformation du carbone organique, devient une énergie disponible pour la synthèse.
- ❖ Le bilan global de l'épuration se traduit par:



VIII. Procédés biologiques



Epuration biologique aérobie

VIII.1. Utilisation des micro-organismes aérobies

Parmi les techniques d'épuration biologique aérobie des eaux usées les plus utilisées:

➤ **Culture bactérienne fixée**

- Lits bactériens / filtres bactériens / Biofiltres;
- Disques biologiques / biodisques...

➤ **Culture bactérienne libre**

- Boues activées
- Lagunage...

VIII.1. Utilisation des micro-organismes aérobies

V.1.1. Culture bactérienne fixée

- ❖ Dans ce genre de procédés, les micro-organismes sont fixés sur un support inerte et forment un **film biologique (BIOFILM)** ou une **biomasse**.
- ❖ Ces micro-organismes ainsi fixés oxydent l'effluent avec lequel ils sont en contact.
- ❖ Le biofilm est un agglomérat de micro-organismes à l'intérieur d'une masse gélatineuse. Il contient en moyenne 4% seulement de matières sèches (96% d'eau).

V.1.1. Culture bactérienne fixée

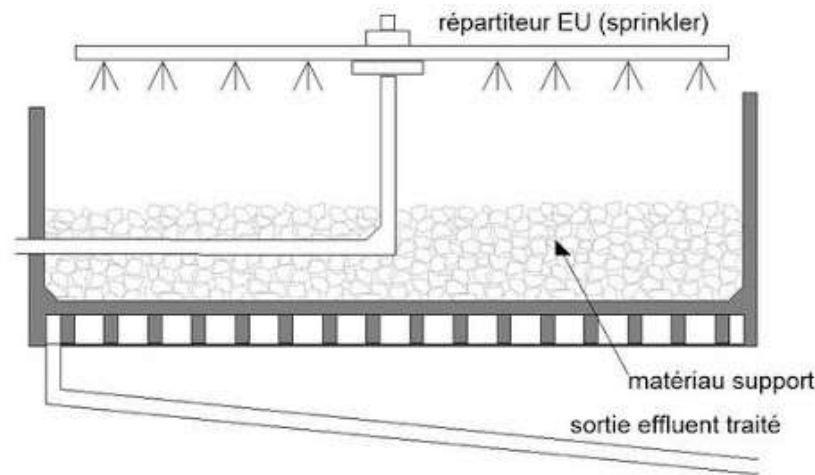
a - Lits bactériens

- ❖ Les micro-organismes épurateurs se développent sur un matériau support (pouzzolane ou plastique) et y forment un film biologique responsable de l'assimilation de la pollution.
- ❖ Ce film biologique est régulièrement irrigué par l'effluent à traiter et se décroche au fur et à mesure que l'eau percole.
- ❖ En sortie du lit bactérien, un mélange d'eau traitée et de biofilm est recueilli. Ce dernier est piégé au niveau d'un décanteur secondaire sous forme de boues.

V.1.1. Culture bactérienne fixée

a - Lits bactériens

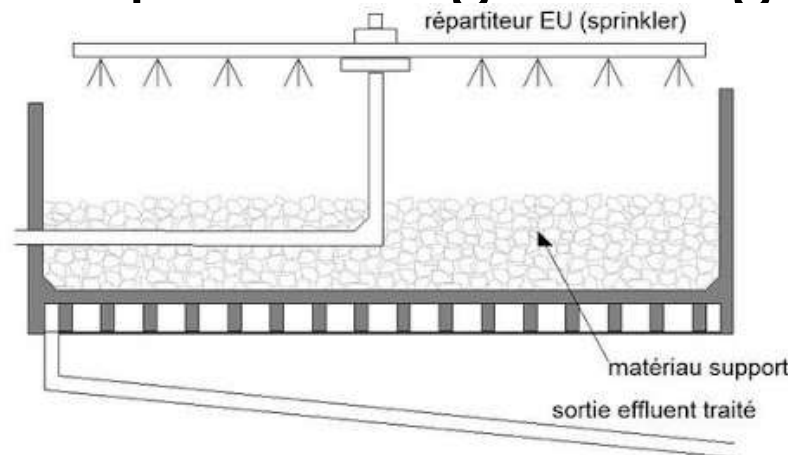
- ❖ Les eaux usées sont réparties sur la partie supérieure du lit dans la majorité des cas, au moyen d'un distributeur rotatif (sprinkler).
- ❖ Les besoins en oxygène sont assurés par voie naturelle ou par aération forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire aux bactéries aérobies.
- ❖ Les boues peuvent être recirculées et réutilisées.



V.1.1. Culture bactérienne fixée

a - Lits bactériens

- ❖ Ces traitements participent à éliminer une grande diversité de polluants. En effet, ils permettent de concentrer les bactéries et ainsi localiser leur action et la rendant plus efficace.
- ❖ La hauteur du lit bactérien est variable est peut aller de 1 à 3 m pour un garnissage classique et de 6 à plus de 12 m pour des garnissages plastiques.



V.1.1. Culture bactérienne fixée

b – Disques biologiques / Biodisques

- ❖ Mode de fonctionnement de ce type de station est basé toujours sur la biodégradation aérobie de la pollution organique.
- ❖ Les percolateurs sont des disques de 2 à 3 m de diamètre, en matière plastique poreuse rangés les uns à côté des autres sur un axe horizontal avec un espacement d'environ 2 cm.
- ❖ Les disques tournent à une vitesse de 1 à 3 tours par minute dans le sens de l'écoulement des eaux.

V.1.1. Culture bactérienne fixée

b – Disques biologiques / Biodisques

- ❖ La biomasse se trouve alternativement en contact avec l'eau à traiter et avec l'oxygène de l'air ambiant.
- ❖ Lors de l'immersion, les micro-organismes absorbent les matières organiques en se saturant d'oxygène atmosphérique, et forment un film biologique riche en bactéries aérobies épuratrices à la surface des disques semi immergés.

Lit bactérien



Disques biologiques



V.1.2. Culture bactérienne libre

a - Boues activées

● Le principe du procédé à boues activées consiste à provoquer le développement d'un floc bactérien dans un bassin alimenté en eau usée à traiter (**bassin d'activation**).

● Afin d'éviter la décantation des floes dans ce bassin, un brassage vigoureux est nécessaire. La prolifération des micro-organismes nécessite aussi une oxygénation suffisante.



V.1.2. Culture bactérienne libre

a - Boues activées

- Les espèces bactériennes aérobies sont sélectionnées selon ce que l'on souhaite éliminer : carbone, azote, phosphore...
- Ces bactéries et leurs déchets du métabolisme forment des boues (boues secondaires) qui sont ensuite traitées et utilisées pour la fertilisation des sols par exemple.
- Une partie de ces boues retourne dans les bassins pour éviter une trop grande perte en bactéries.



V.1.2. Culture bactérienne libre

b - Le lagunage

- ⊕ Le lagunage est un procédé d'épuration qui consiste à faire circuler des effluents dans une série de bassins (**lagunes**) pendant un temps suffisamment long pour réaliser les processus naturels de l'auto-épuration.
- ⊕ Il est pratiqué dans les régions très ensoleillées, dans des bassins de faible profondeur.



V.1.2. Culture bactérienne libre

b - Le lagunage

- ⊕ Le principe général consiste à recréer, dans des bassins, des chaînes alimentaires aquatiques.
- ⊕ Le rayonnement solaire est la source d'énergie qui permet la production de matières vivantes par les chaînes trophiques.
- ⊕ Les substances nutritives sont apportées par l'effluent alors que les végétaux sont les producteurs d'oxygène.
- ⊕ Ces processus induisent la formation de boues de lagunage au fond des bassins.



b - Le lagunage

Lagunage naturel

- + Les eaux usées sont stockées dans des lagunes peu profondes (1.2 à 1.5 m au maximum et de 0.8 m au minimum) avec un temps de séjour de l'ordre du mois. L'activité microbienne se fait naturellement : échange avec l'atmosphère, photosynthèse...
- + Le rendement d'épuration peut arriver à 90 %.
- + Ces procédés sont très sensibles à la température et sont peu applicables aux régions froides.
- + Leur dimensionnement est généralement basé, pour un climat tempéré, sur une charge journalière d'environ 10 m^2 par habitant soit de $50 \text{ kg}_{\text{DBO}_5} \text{ha}^{-1} \text{j}^{-1}$.

b - Le lagunage

Lagunage aéré

- ✚ En fournissant l'oxygène par un moyen mécanique, on réduit les volumes nécessaires des lagunes et on peut accroître leur profondeur.
- ✚ L'aération artificielle est réalisée par des aérateurs mécaniques flottants ou fixes ou une insufflation d'air.
- ✚ La concentration en bactéries est plus importante qu'en lagunage naturel. Le temps de séjour est de l'ordre de 1 semaine et la profondeur est de 1 à 4 m.

VIII.1. Utilisation des micro-organismes aérobies

Avantages

- Biodégradation aérobie facilitée
- Pas de réactif (sauf oxygène !)
- Pas de contamination
- Seule dépense: aération

Inconvénients

- Mise en route et réglage très lent
- Quantité importante de boues activées

**Procédé d'épuration biologique
le plus répandu**

VIII. Procédés biologiques

VIII.2. Utilisation des micro-organismes anaérobies

- ✚ Ce type de traitement est utilisée pour les effluents très concentrés en pollution carbonée de type industriel: sucrerie, conserverie, etc.
- ✚ La conversion anaérobie des matières solides organiques en sous-produits inoffensifs est très complexe et résulte de multiples réactions.
- ✚ Ces dernières s'effectuent en absence de l'oxygène, et les matières organiques biodégradables se retrouvent en fin de ces réactions sous forme de méthane (CH_4) et dioxyde de carbone (CO_2).

VIII. Procédés biologiques

VIII.2. Utilisation des micro-organismes anaérobies

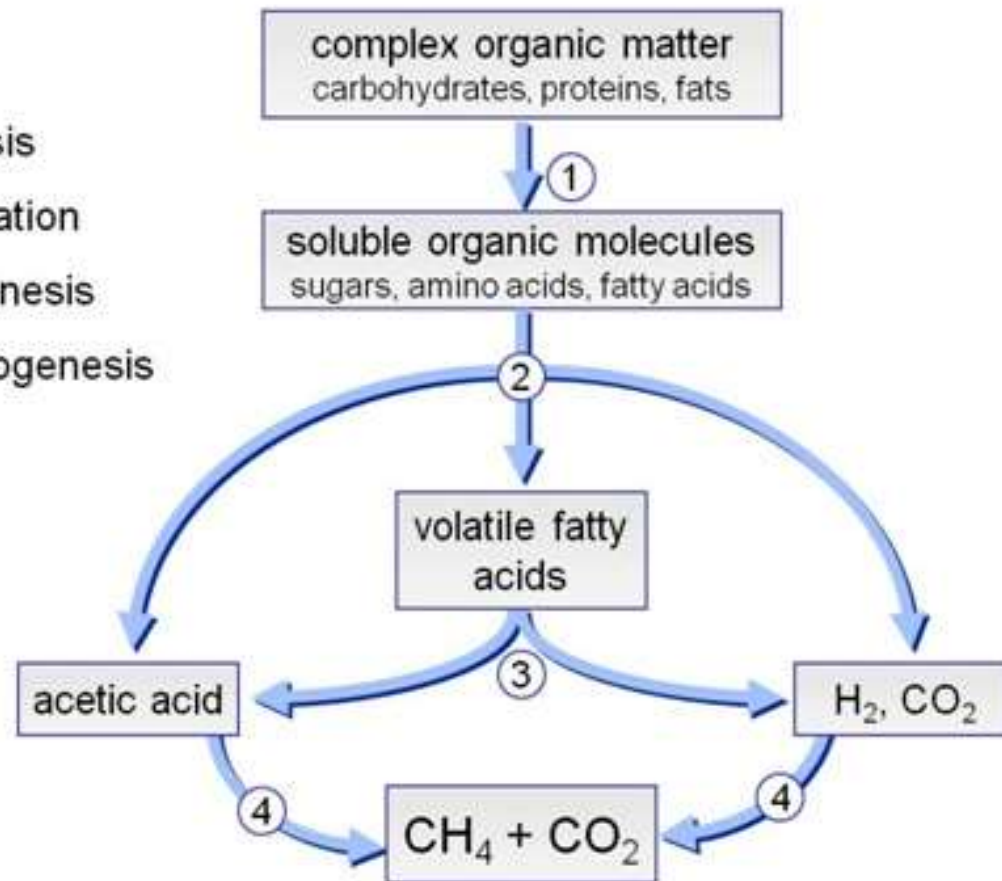
La dégradation de la matière organique en milieu anaérobie qui s'appelle «**fermentation méthanique**» s'effectue en deux étapes principales qui sont :

- ❖ Une phase acide de liquéfaction (hydrolyse) des composants organiques aboutissant à la formation d'acide gras volatils (AGV) ;
- ❖ Une phase gazéification ou méthanogénèse dont les produits finals sont les deux gaz CH_4 et CO_2 .

VIII.2. Utilisation des micro-organismes anaérobies

Anaerobic treatment

- ① hydrolysis
- ② fermentation
- ③ acetogenesis
- ④ methanogenesis



Différentes étapes d'un traitement anaérobie

VIII.2. Utilisation des micro-organismes anaérobies

A chaque phase de fermentation intervient un groupe spécifique de micro-organismes :

- Les **bactéries fermentatives**, responsables de l'hydrolyse de la matière organique (protéines, lipides, polysacharides) et de leur dégradation en acide gras volatils (essentiellement acide acétique), en alcool (éthanol), en H_2 et CO_2 ;
- Les **bactéries acidogènes** «produisant H^+ » et utilisant les substrats précédents pour produire des acétates, de l'hydrogène et quelque fois du CO_2 ;
- Les **bactéries méthanogènes** qui produisent le biogaz ($CH_4 + CO_2$) à partir des substrats élaborés dans les phases précédentes.

VIII.2. Utilisation des micro-organismes anaérobies

Les procédés anaérobies les plus communes sont :

a – Digestion anaérobie

+ Dans ce traitement, les eaux usées sont envoyées dans un **digesteur** puis ressortent épurées pour être séparées des boues par décantation. Ces boues étant renvoyées dans le digesteur pour maintenir l'ensemencement.

+ Les rendements de cette technique sont d'environ 90 %, mais comme les eaux sont très chargées au départ, il est nécessaire de faire un traitement complémentaire pour affiner l'épuration, le plus souvent en aérobiose.

VIII.2. Utilisation des micro-organismes anaérobies



Digesteur

VIII.2. Utilisation des micro-organismes anaérobies

b - Lagunage anaérobie

- ✚ Il n'est applicable que sur des effluents très concentrés et, le plus souvent, comme pré-traitement avant un étage aérobie.
- ✚ La couverture de ces lagunes et le traitement des gaz produits sont nécessaires vu les risques de nuisances élevés (odeurs).
- ✚ Le temps de séjour est variable et peut être calculé par le rapport du volume sur le débit des eaux à traiter.
- ✚ Une profondeur importante (5 à 6 m) est en principe un élément favorable pour ce processus.

VIII.2. Utilisation des micro-organismes anaérobies

Avantages

- Bonne efficacité obtenue dans la dépollution des eaux chargées;
- Adaptation aux faibles températures;
- Faible besoin d'espace...

Inconvénients

- Risques de nuisances (odeurs et gaz dangereux)
- Instabilité (pH)...

La conduite de ce procédé est difficile et délicate