

Oxydation biologique

1. PRINCIPE

L'oxydation biologique correspond à la dégradation des polluants gazeux par des micro-organismes. Ces micro-organismes, le plus souvent des bactéries, mais aussi des champignons, moisissures, levures ou algues microscopiques, utilisent les polluants pour leur propre biosynthèse (anabolisme) et comme source d'énergie (catabolisme). Par exemple, les composés organiques seront utilisés comme source de carbone, en présence d'oxygène. L'oxydation complète d'un substrat carboné organique conduit à la formation de biomasse et de composés minéraux (CO_2 et H_2O).

- Les micro-organismes se développant en phase aqueuse, les composés à dégrader et l'oxygène devront être transférés vers la phase liquide dans laquelle la dégradation biologique aura lieu. La dégradation s'effectue donc en deux étapes : absorption du polluant dans la phase aqueuse puis oxydation.
- Outre les conditions opératoires, les performances d'un tel système seront fonction des propriétés physico-chimiques du (ou des) composé(s) à biodégrader. La solubilité et bien sûr la biodégradabilité des molécules à traiter seront donc des facteurs importants.

1.1 Les polluants

Les composés qui pourront être éliminés par cette voie devront être :

- non toxiques : le bromométhane ainsi que de nombreux aromatiques chlorés ne peuvent pas être traités ;
- suffisamment biodégradables (test de Zahn-Wehlens) ;
- suffisamment solubles (constante de Henry maximale de 15 mol/mol) ;
- non générateurs de métabolites indésirables.

Dans le cas des organochlorés et des organosoufrés dont la dégradation génère HCl et H_2SO_4 qui rendent le pH du milieu incompatible avec l'activité biologique, l'ajout de CaCO_3 pourra permettre de tamponner le milieu.

Des composés inorganiques peu concentrés tels que H_2S , CS_2 et NH_3 peuvent également être traités.

1.2 Le temps de séjour

Le temps de séjour va définir le volume de lit nécessaire. Une étude expérimentale pilote peut permettre d'établir une courbe rendement/temps de séjour.

1.3 Les nutriments

L'addition d'éléments nutritifs (carbone, phosphore, azote, soufres...), souvent couplée au système d'arrosage, permet dans certains cas d'améliorer la vitesse de dégradation.

1.4 Les conditions opératoires

Certains paramètres doivent être pris en considération afin que le système fonctionne convenablement. Pour la bioépuration, la température optimale pour la mésophilie se situe généralement entre 10 et 40°C, la température de 55°C représentant une limite maximale. L'humidité du milieu doit rester comprise entre 40 et 60%. Le pH du milieu doit rester compatible avec la vie microbienne ($5 < \text{pH} < 8$). La concentration en oxygène doit également être suffisante pour maintenir des conditions aérobies.

2. MICRO-ORGANISMES

La microflore d'un biofiltre est essentiellement composée de micro-organismes aérobies hétérotrophes tels que des bactéries, des levures et des micromycètes. Elle est très variée et sa composition n'est pas toujours déterminée exactement. Elle constitue des consortiums créant un équilibre dynamique. Cette variété permet une adaptation rapide à une éventuelle variation de l'effluent.

2.1 Acclimatation de la microflore

Suivant la nature des composés à traiter, la bioépuration nécessitera parfois une inoculation de micro-organismes appropriés pour démarrer l'activité biologique. Pour les constituants facilement biodégradables, une suspension de boues activées provenant d'une installation de traitement des eaux usées pourra être utilisée. D'autres sources potentielles de micro-organismes existent : sols, eaux de surface... La sélection d'une souche adaptée aux composés à dégrader pourra également être envisagée, ce qui permet d'accélérer la phase de démarrage.

La phase d'acclimatation d'un épurateur biologique peut être assez longue, de l'ordre de 1 à 3 semaines. Pendant cette phase, le système doit être maintenu sous aération.

2.2 Caractérisation de la microflore

La quantification de la microflore et de son activité n'est pas simple et est difficilement exhaustive. Parmi les méthodes disponibles, on peut citer :

- les dénombrements sur diverses géloses nutritives ;
- la microscopie optique, qui peut être quantitative (épifluorescence) ;
- le dosage de divers composants cellulaires : polysaccharides, phospholipides, ADN, ARN, acide muramique, ATP ;
- le suivi de diverses activités enzymatiques ;
- le dosage des produits du métabolisme : dioxyde de carbone.

POLLUANT	➤ Micro-organismes adaptés
■ HYDROCARBURES	➤ Nocardia, Pseudomonas
■ ALCOOLS	➤ Corynebacterium
■ AROMATIQUES	➤ Pseudomonas fluorescens, Pseudomonas Putida
■ ALDÉHYDES, CÉTONES	➤ Rhodococcus, Pseudomonas fluorescens, Pseudomonas Putida
■ AMINES	➤ Pseudomonas, Alcaligenes, Rhodococcus
■ CHLOROALCANES	➤ Xanthobacter, Mycobacterium, Hyphomicrobium
■ SOUFRÉS	➤ Hyphomicrobium, Thiobacillus, Bacillus

3. INSTALLATIONS

Trois types de procédés sont disponibles : les biofiltres (phase aqueuse statique, biomasse fixée), les filtres percolateurs (phase aqueuse mobile, biomasse fixée) et les biolaveurs (phase aqueuse mobile, biomasse libre).

3.1 Les biofiltres

La biofiltration consiste à faire traverser un milieu poreux supportant des micro-organismes aérobies par le flux à traiter.

Le support peut être constitué de tourbe, de compost, d'écorces ou de copeaux de bois. Ces matériaux peuvent apporter au système des éléments nutritifs et leurs propres micro-organismes.

Deux types de biofiltres existent, ouverts ou fermés. Généralement, les réacteurs ouverts sont constitués simplement de parois et d'un plancher poreux. L'air traverse le garnissage par écoulement ascendant et un système d'aspersion d'eau permet de réguler l'humidité du lit.

Des biofiltres fermés existent, moins sensibles aux intempéries. Ils permettent un meilleur contrôle de l'humidité et assurent une meilleure homogénéité en minimisant les phénomènes de tassement, de passages préférentiels et les rejets aqueux.

Des prétraitements sont à prévoir, comme l'humidification du flux à traiter, le dépoussiérage, le dévésicelage, un refroidissement éventuel ou un réchauffage, un lissage des débits et des concentrations. Ce type de procédé a une durée de vie de 3 à 5 ans.

> Matériaux filtrants classiques

- Tourbe, compost aéré par des écorces, des copeaux, des billes de polystyrène, des billes de verre poreuses, des fibres de coco, ou des billes d'argile expansée
- Pouzzolane ou roches volcaniques
- Argiles et schistes expansés (perlite)
- Maërl ou coquilles d'huîtres
- Bruyère
- Charbon actif
- Garnissage plastique

3.2 Les filtres percolateurs

Dans les filtres percolateurs, le biofilm se développe à la surface d'un support fixe en matériau inerte (en vrac ou structuré). Un arrosage permanent distribue l'eau et les compléments nutritifs.

Le gaz à traiter passe au travers du lit de garnissage en général à contre-courant de la phase aqueuse.

Dans ce type de filtre, les régulations de pH de teneur en nutriments et de température sont plus facilement réalisées.

Les boues formées sont éliminées par entraînement dans la phase liquide circulante et récupérées par simple décantation.

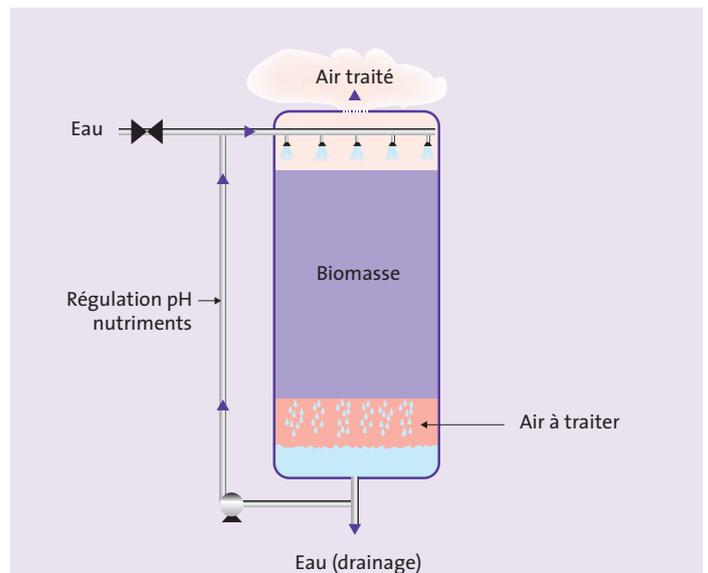
3.3 Les biolaveurs

Dans un biolaveur, l'absorption et l'oxydation ont lieu dans deux réacteurs distincts. L'absorption du polluant dans la phase aqueuse est réalisée dans un contacteur gaz-liquide, généralement un laveur à pulvérisation. L'étape de dégradation biologique se produit dans un bassin d'activation contenant la biomasse en suspension (boues activées).

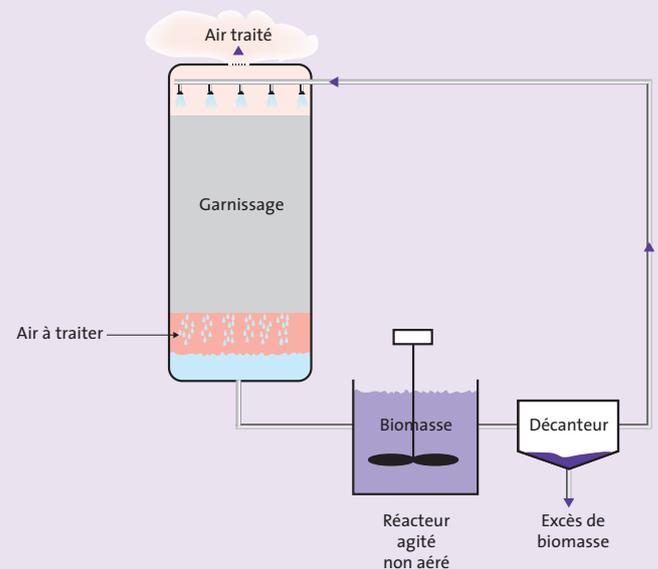
L'utilisation de biolaveurs avec de l'eau comme liquide de lavage est adaptée aux polluants solubles et faiblement toxiques. Pour des polluants peu solubles ou présentant une toxicité vis-à-vis de la biomasse, il est possible d'utiliser une émulsion huile/eau (par exemple, huile de silicone). L'huile utilisée doit avoir les propriétés suivantes :

- non biodégradable ;
- faible tension de vapeur ;
- pouvoir solubilisant important pour le polluant ;
- très peu miscible à l'eau ;
- non toxique ;
- inodore.

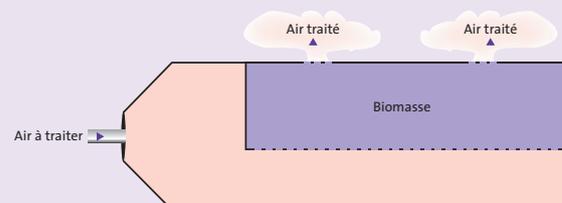
La solubilisation du polluant dans l'huile permet de réguler son transfert vers la phase aqueuse.



> Filtre percolateur



> Biolaveur



> Biofiltre

4. APPLICATIONS

4.1 Avantages et inconvénients

L'oxydation biologique permet d'atteindre des rendements de dégradation supérieurs à 90%.

Les fluctuations de charge ne perturbent pas le fonctionnement d'un traitement biologique et il est plutôt insensible aux pointes de pollution ou à un arrêt momentané de l'installation. Par contre, en cas d'arrêt prolongé, une phase de réacclimatation devra être observée.

Ce type de traitement présente l'avantage d'avoir des coûts d'investissement et de fonctionnement parmi les moins élevés.

Des prétraitements seront souvent à prévoir pour humidifier, refroidir et dépoussiérer les effluents, car ces systèmes doivent travailler en dessous de 40°C et avec moins de 10 à 20 mg.Nm⁻³ de poussières.

Pour les biofiltres, un des inconvénients majeurs est l'importante surface au sol nécessaire.

4.2 Domaine

Le débit n'est pas un facteur limitant pour le fonctionnement d'une installation de biofiltration. Par contre, il conditionne le dimensionnement et peut conduire à des installations de plus de 600 m² d'encombrement au sol. Des débits de 150 à 400 000 Nm³.h⁻¹ d'effluents, avec des concentrations de 0,1 g.Nm⁻³ à 1 g.Nm⁻³ peuvent être traités.

4.3 Exemples

Les exemples existent surtout en biofiltration, notamment dans le traitement des odeurs (station d'épuration, séchage des boues) mais aussi pour traiter des solvants, par exemple en enduction d'adhésifs.

Les autres techniques, comme le biolavage ou les filtres percolateurs, connaissent des réalisations industrielles à l'étranger dans des domaines comme la fabrication de revêtements plastiques, la peinture ou encore la fabrication de panneaux acrylates.

5. RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

L'oxydation biologique est une technique qui était essentiellement utilisée pour la réduction des odeurs. La recherche s'oriente vers le développement de ces procédés pour le traitement des effluents gazeux, notamment par des travaux sur les biolaveurs et les filtres percolateurs. La modélisation de ces bioréacteurs est également étudiée.

5.1 Biolaveurs et filtres percolateurs

L'objectif est de développer des systèmes capables de traiter des flux industriels.

Les recherches portent sur le développement de souches spécifiques, ainsi que sur l'utilisation d'émulsions huile organique/eau. Ces émulsions élargissent les possibilités de traitement à des composés non solubles dans l'eau ou toxiques à faible concentration, tels que le styrène ou les solvants chlorés.

5.2 Modélisation des bioréacteurs

Afin de pouvoir mieux concevoir, dimensionner et gérer les bioprocédés, des modèles mathématiques sont développés. La complexité des phénomènes physico-chimiques et biologiques mis en jeu et la grande variabilité des systèmes dans le temps représentent les principales difficultés de ces simulations.

POUR EN SAVOIR PLUS

> Fournisseurs d'installation

D2E (Alès)
Murgue-Seigle (Genas)
RHODIA-Rhoditech (Décines-Charpieu)
SOCREMATI (Cergy-Pontoise)

> Laboratoires de recherche

GPI (UTC, Compiègne), LARCIP (ENSCR, Rennes),
DSEE (EMN, Nantes), LGEI (EMA, Alès)

BIBLIOGRAPHIE

- La réduction des émissions de composés organiques volatils dans l'industrie. Collection *Connaître pour agir*, ADEME, 1997.
- P. Pré – Bioprocédés en traitement de l'air. Modélisation des bioréacteurs. Les Techniques de l'ingénieur, G 1781, 2004.
- J.L. Fanlo, G. Martin et J.R. Degorce-Dumas – Les composés organiques volatils (COV) dans l'environnement. Chapitre 16. Éditions Lavoisier Tec & Doc, 1998.
- P. Le Cloirec – COV (composés organiques volatils). Les Techniques de l'ingénieur, G 1835, 2004.