

MÉCANISMES DE LA BIODÉGRADATION ET LEURS LIMITES

L'épuration biologique des eaux résiduaires est une transformation des substances organiques et inorganiques par des micro-organismes qui les utilisent pour se développer. Les processus mis en œuvre s'inscrivent dans les cycles biogéochimiques du carbone, de l'azote, du soufre, du fer et du manganèse, où les substances à dégrader sont soumises à des processus biologiques (biotransformation ou biodégradation) et physico-chimiques (hydrolyse, volatilisation, solubilisation, ...).

Les filières d'épuration des eaux résiduaires urbaines mettent en œuvre des procédés biologiques afin d'éliminer totalement ou partiellement certaines classes de pollution. Or, toutes les pollutions ne sont ni systématiquement, ni rapidement biodégradables : certaines molécules peuvent en effet inhiber les fonctions métaboliques des micro-organismes ou être difficiles à dégrader de par leur complexité. De plus, d'autres substances ou composés, tels les métaux lourds, peuvent entraver ces processus biologiques en agissant comme des poisons.

Dans le cadre de ce document, il ne s'agit pas de fixer des concentrations en polluants divers qui limiteraient l'action des micro-organismes, mais plutôt de faire une synthèse sur les facteurs pouvant entraver les processus de biodégradation des matières polluantes, organiques et inorganiques.

DÉFINITIONS

La charge polluante biodégradable est quantifiée par différents paramètres :

DBO₅ : Demande Biologique en Oxygène : elle représente la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour oxyder la matière organique biodégradable présente dans l'eau. L'essai normalisé en laboratoire prévoit un ensemencement microbien de l'échantillon à mesurer et une incubation à 20°C, à l'obscurité, pendant 5 jours. Le résultat est exprimé en mg/l d'oxygène consommé pendant 5 jours.

DCO : Demande Chimique en Oxygène : elle représente la consommation d'oxygène nécessaire à l'oxydation non biologique de l'ensemble des matières organiques présentes dans l'effluent, qu'elles soient ou non biodégradables. L'essai normalisé en laboratoire consiste à mesurer la quantité de dichromate de potassium consommée, à chaud, par les matières organiques (du sulfate d'argent est ajouté comme catalyseur). Cette mesure a l'avantage de fournir rapidement un résultat, et d'être facilement reproductible, mais ne renseigne pas directement sur la biodégradabilité de l'effluent.

***Remarque** : il existe une fraction de la matière organique qui est très difficilement, voire non biodégradable ; on la qualifie alors de DCO dure ou réfractaire. Cette fraction de la matière organique génère peu de problèmes en épuration des eaux résiduaires urbaines, ce qui est loin d'être le cas pour les effluents industriels ou mixtes, pour lesquels il est parfois difficile de respecter la réglementation en terme de concentrations limites dans les rejets épurés.*

ÉVALUATION DE LA BIODÉGRADABILITÉ

Le rapport DCO/DBO₅ donne une première estimation de la biodégradabilité de la matière organique d'un effluent donné ; on convient généralement des limites suivantes :

- DCO/DBO₅ < 2 : l'effluent est facilement biodégradable ;
- 2 < DCO/DBO₅ < 3 : l'effluent est biodégradable avec des souches sélectionnées ;
- DCO/DBO₅ > 3 : l'effluent n'est pas biodégradable.

En outre, pour être performants, les micro-organismes épurateurs exigent des apports spécifiques en nutriments (DBO₅, azote et phosphore) dans les proportions DBO₅/N/P = 100/5/1.

En fonction du traitement biologique recherché et des populations bactériennes à favoriser, il convient également de respecter les rapports nutritifs suivants :

- 10 < DCO/N < 60, pour favoriser la dénitrification (transformation de l'azote sous forme de nitrates en azote gazeux) ;
- 30 < DCO/P < 300, pour favoriser la déphosphatation (suraccumulation du phosphore par les bactéries).

C'est pourquoi, il peut être nécessaire d'apporter des nutriments à la biomasse (carbone, phosphore, azote) dans le cas où la qualité de l'eau à traiter serait trop éloignée des conditions optimales requises.

FACTEURS LIMITANT LA BIODÉGRADABILITÉ

Détergents

Les détergents posent le problème d'une biodégradabilité imparfaite : d'une façon schématique, on peut dire que ceux qui ont des chaînes aliphatiques ramifiées ne sont pas biodégradables, alors que ceux qui ont des chaînes linéaires le sont. Outre le fait qu'ils sont plus ou moins biodégradables, les détergents modifient les propriétés physico-chimiques du milieu, notamment en diminuant le taux de transfert de l'oxygène par diminution de la tension superficielle de l'eau. En plus de cette altération des transferts gazeux, les détergents émulsifient les corps gras et les hydrocarbures, ce qui empêche leur séparation par écrémage superficiel, et ont une action défloculante sur les colloïdes, ce qui peut désorganiser le floc bactérien. Actuellement, il est interdit de commercialiser des détergents dont la biodégradabilité finale, mesurée après 21 jours, est inférieure à 80%.

Métaux lourds et composés chimiques

POLLUANT	CONCENTRATION MAXIMUM (mg/l)
Chrome	5,0
Chrome hexavalent	3,0
Cuivre	1 à 2
Nickel	3

Tableau 1

Le tableau 1 donne les concentrations maximales admissibles de quelques métaux lourds pour un procédé biologique aérobie.

Remarque : il est nécessaire de souligner que les métaux lourds se concentrent dans les boues issues des traitements biologiques ; il faut donc tenir compte de cet effet de concentration si les boues sont évacuées en agriculture, ainsi que pour le dimensionnement des filières de traitement biologique des boues (digestion, compostage).

De nombreux métaux et métalloïdes font l'objet de cycles biologiques. Ces biotransformations peuvent conduire à l'apparition de composés plus ou moins toxiques qui s'accumulent dans l'environnement. C'est le cas, par exemple, du mercure qui subit une méthylation essentiellement par les bactéries sulfato-réductrices, par transformation en méthylmercure (MeHg) très facilement bioaccumulable. Cette biotransformation est favorisée par des valeurs faibles de pH, ainsi que par des concentrations élevées en matière organique.

Quant aux composés chimiques, ils sont plus ou moins rapidement biodégradables, leur décomposition dépendant notamment du pouvoir d'adaptation des souches bactériennes. Par exemple, des déversements sporadiques de phénol (ou dérivés) à des concentrations de 10 mg/l perturbent sérieusement le fonctionnement d'une station d'épuration d'effluents urbains, alors que l'épuration aérobie d'effluents de cokerie chargés à 2,5 g/l ne pose aucun problème.

Pesticides

PESTICIDE	TEMPS DE DEMI-VIE
DDT	15 ans
Lindane	2 ans
Parathion	130 jours
Bromadiolone	70 jours
Atrazine	60 jours
Malathion	11 jours

Tableau 2

Les pesticides (herbicides, fongicides, insecticides et rodenticides) sont essentiellement à la source de la pollution des eaux de ruissellement et d'infiltration. Ils sont difficilement biodégradables : le DDT, par exemple, est encore présent dans l'environnement alors que son utilisation est interdite depuis 1972. Le tableau 2 donne les temps de demie-vie de quelques pesticides. Même si ces données concernent des populations bactériennes issues des sols, elles permettent de se rendre compte de la complexité des mécanismes de biodégradation mis en jeu quand ils sont présents dans les rejets.

Les autres facteurs limitants (pH, température, salinité)

Le développement bactérien est possible dans un intervalle de pH assez large : 5 à 9. Certains procédés biologiques réclament des gammes spécifiques de pH : les bactéries nitrifiantes nécessitent des pH compris entre 7,4 et 9 pour Nitrosomonas, 8,5 et 9,1 pour Nitrobacter ; en revanche, les bactéries déphosphatantes Acinetobacter s'épanouissent davantage avec des pH plus acides, compris entre 6,1 et 7,5. Il faut aussi prendre en compte les modifications pouvant être entraînées par les processus biologiques, certains conduisant à des acidifications, d'autres à des alcalinisations, ce qui peut rendre inutile toute rectification extérieure du pH.

La température est un facteur clé de l'activité biologique. Des températures inférieures à l'optimum ont en général un impact plus important sur le procédé que des températures supérieures à ce même optimum. Une règle, généralement admise, veut que les taux de croissance bactérienne doublent pour chaque incrément de température de 10°C, jusqu'à atteindre la valeur optimale. En fonction des températures optimales, les bactéries sont dites :

- psychrophiles : organismes pouvant vivre jusqu'à des températures de 0°C ;
- mésophiles : organismes dont la croissance est favorisée entre 25 et 40°C ;
- thermophiles : organismes dont la croissance est favorisée à des températures égales ou supérieures à 50°C.

La concentration en sels dissous peut être un élément limitant de la croissance bactérienne (et donc de la biodégradabilité d'un effluent). Certaines bactéries peuvent concentrer des sels jusqu'à 1000 fois par rapport à la concentration du milieu (c'est par exemple le cas du potassium, K⁺), et manifester une grande résistance à la concentration saline du milieu. Ainsi, selon les espèces, la concentration maximale de NaCl n'entravant pas leur croissance peut varier de 50 à plus de 240 mg/l. Par contre, certains types de bactéries, dites halophiles, nécessitent du sel pour leur croissance : les concentrations nécessaires en NaCl peuvent varier de 1 à 6% pour les faiblement halophiles, jusqu'à 15 à 30% pour les halophiles extrêmes.

CONCLUSION

La conception des stations d'épuration nécessite une parfaite connaissance des caractéristiques biologiques et physico-chimiques des effluents, surtout s'ils comportent une part d'effluents industriels pouvant inhiber la biodégradation des charges polluantes par les micro-organismes,

Ainsi, plusieurs facteurs sont à prendre en compte afin d'évaluer la biodégradabilité d'un effluent, et de mettre en œuvre les procédés appropriés d'épuration :

- l'effluent peut être plus ou moins favorable au développement de la biomasse en terme de nutriments présents, d'où la nécessité d'assurer parfois une complémentation sous forme carbonée (méthanol), azotée (urée) ou phosphorée ; de la même façon, pH, température et concentration du milieu en sels sont plus ou moins bénéfiques selon les micro-organismes présents ;
- certains produits peuvent constituer des poisons pour l'activité bactérienne ou des substrats très longs à dégrader : détergents, pesticides, ou autres composés chimiques.