

LES TECHNOLOGIES DE TRAITEMENT DES MICROPOLLUANTS DANS LES EAUX USÉES

Novembre 2014

Le terme micropolluants désigne des substances, d'origine naturelle ou synthétique, susceptibles d'avoir une action toxique à des concentrations infimes, dans un milieu donné (de quelques ng/L à quelques µg/L). Certaines de ces substances sont qualifiées de perturbateurs endocriniens car elles peuvent agir à très faible dose sur l'équilibre hormonal des êtres vivants. La présence de beaucoup de ces substances dans l'environnement est aujourd'hui confirmée. Il est nécessaire d'y remédier en limitant au maximum les rejets de ces substances dans le milieu naturel.

Le contexte réglementaire

La réglementation européenne (directive cadre sur l'eau ou « DCE » de 2000 et ses directives filles) impose aux pays l'atteinte d'un « bon état chimique » et d'un « bon état écologique » des masses d'eau. Il s'agit de respecter des concentrations limites, intitulées « NQE - CMA » (normes de qualité environnementales exprimées en concentrations maximales admissibles) ou « NQE - MA » (normes de qualité environnementales exprimées en moyennes annuelles), dans les eaux de surface pour les micropolluants inscrits dans la liste de substances prioritaires.

Parallèlement il existe aussi une réglementation européenne relative à la présence de micropolluants dans les eaux souterraines ainsi qu'une réglementation spécifique à l'eau potable qui vaut aussi pour certains micropolluants (Cadmium, Nickel, Mercure, pesticides,

hydrocarbures aromatiques etc...). Ces réglementations ne seront pas détaillées ici.

La liste des substances prioritaires, modifiée en juillet 2013, est composée de **45 micropolluants numérotés** et comprend notamment des métaux lourds, des pesticides, des hydrocarbures aromatiques, des composés chlorés... **Cette liste est accessible sur le site internet du SIET : www.siet-info.com**

Selon les substances, les Etats membres doivent respecter dans les eaux de surface des concentrations limites à des échéances distinctes :

- 22 décembre 2015 pour 33 substances (numérotées de 1 à 33),
- 22 décembre 2021 pour 7 substances (numérotées 2, 5, 15, 20, 22, 23 et 28)
- 22 décembre 2027 pour 10 substances (numérotées de 34 à 43).

A la liste des substances prioritaires, s'est ajouté en 2013 une « liste de vigilance » ayant pour but d'acquiescer plus de connaissances sur certaines substances, dans l'éventualité de les intégrer ensuite dans la liste des substances prioritaires. Cette liste est constituée de trois résidus de médicaments (le diclofénac, le 17-bêta-estradiol (E2) et le 17-alphaéthinyloestradiol (EE2)) et doit être complétée au plus tard en septembre 2014 pour atteindre un maximum 10 substances.

Enfin **10 « polluants spécifiques »** (dont 1 uniquement valable pour la Martinique et la Guadeloupe) interviennent dans l'évaluation de l'état écologique des eaux de surface en France. **La liste de ces 10 polluants spécifiques est accessible sur le site internet du SIET : www.siet-info.com**

Programmes d'actions

Pour contribuer à ces objectifs de résultats mais aussi réduire de manière plus générale les teneurs en micropolluants dans les eaux de surface (résidus de médicaments, antibiotiques, perturbateurs endocriniens superplasticifiants...) plusieurs pays ont mis en place des programmes de traitement spécifiques. En France, il n'existe pour l'heure aucun objectif de traitement des micropolluants à l'échelle nationale. Néanmoins, s'appuyant sur des études

de surveillance, certaines autorités locales imposent des obligations de traitement en fonction des spécificités locales.

Il est à noter que les types et concentrations de micropolluants dans les eaux usées sont très variables d'une station d'épuration à une autre : ils dépendent de l'activité autour de la station (domestique, industrielle, agricole) et de sa configuration (par exemple pollution des sols lors des événements pluvieux).

Les usines de traitement des eaux usées « conventionnelles » traitent déjà une partie des micropolluants présents dans les eaux usées. Cependant, afin d'obtenir une bonne efficacité de traitement sur les micropolluants, il est nécessaire d'ajouter dans la filière de traitement des étapes de traitement spécifiques. Les professionnels du SIET ont développé ces technologies spécifiques qui ont fait aujourd'hui la preuve de leur efficacité.

Les équipements de traitement de l'eau contribuant à l'élimination des micropolluants dans les eaux usées

LA FILTRATION SUR MEDIA

La filtration sur média peut être utilisée pour deux objectifs distincts.

D'une part, elle permet de retirer les matières en suspension (MES) présentes dans les eaux usées. Dans ce cas elle est utilisée comme prétraitement afin d'optimiser les procédés de traitement en aval qui tolèrent peu la présence de MES.

D'autre part, elle peut aussi éliminer directement certains micropolluants précipités. Pour cela il faudra donc associer un traitement amont complémentaire permettant de précipiter ces micropolluants.

Le choix du média de filtration est adapté à la finesse de filtration nécessaire: sable (de 100µm à 1 mm),

anthracite (de 100µm à 1 mm), diatomées (de 1µm à 50µm). L'ajout de coagulants et flocculants organiques ou minéraux (par exemple sels de fer ou d'aluminium) peut permettre dans certains cas d'améliorer la performance de la filtration.

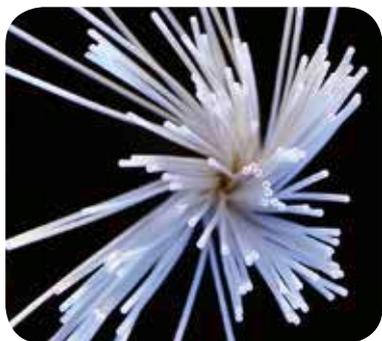
Le support du média de filtration se présente sous forme de plancher dans le cas des filtres à anthracite ou à sable et sous forme de cadre dans le cas des filtres à diatomées. Le choix du média de filtration (granulométrie et densité) permettra d'optimiser le cycle de lavage et/ou de décolmatage. La vitesse de filtration maximum à ne pas dépasser dépendra du média retenu, de la qualité de l'eau traitée et



Filtre à sable

de l'objectif qualitatif recherché. Plus récemment, de nouvelles technologies de filtration mécanique (par exemple disques filtrants) permettant aussi de retirer les matières en suspension sont apparues.

LA FILTRATION MEMBRANAIRE



Membranes d'ultrafiltration «fibres creuses»

Procédé de séparation, les membranes sont des barrières physiques à base de céramique ou de polymères organiques utilisées pour de nombreuses applications. Elles se sont particulièrement développées dans le traitement de l'eau.

Dans un ordre croissant de finesse de filtration, on distingue les membranes de microfiltration (taille de pore proche de 0,1µm), d'ultrafiltration (0,01µm), de nanofiltration (0,001µm) et

d'osmose inverse (membrane dense). Leurs capacités de traitement vont de la clarification (membranes de microfiltration), à la désinfection (membrane d'ultrafiltration).

Les membranes de microfiltration et d'ultrafiltration sont dites de «basse pression» car les pressions appliquées pour leur fonctionnement restent faibles et de l'ordre du bar. Ces membranes se présentent plutôt sous forme d'une géométrie «fibres creuses»

Les membranes de nanofiltration et d'osmose inverse sont quant à elles qualifiées de «haute pression»: les pressions appliquées sont plus importantes, d'une dizaine à plusieurs dizaines de bars. Ces membranes se présentent plutôt sous forme d'une géométrie «spirale».

D'un point de vue économique, les procédés membranaires basse pression sont des techniques peu consommatrices d'énergie. De

plus, la maîtrise et l'optimisation de leur procédé de fonctionnement permettent aux membranes d'avoir une durée de vie de plus en plus importante.

En procédé unitaire, c'est-à-dire sans association avec d'autres technologies, seules les membranes de nanofiltration ou d'osmose inverse possédant des sélectivités suffisantes (500 Daltons voire moins) peuvent assurer le traitement des micropolluants.

En procédé combiné, l'association des membranes d'ultrafiltration (membranes «basse pression») avec du charbon actif en poudre (CAP) ou en grain (CAG) permet d'assurer également le traitement des micropolluants. Cette combinaison permet notamment de réduire les coûts énergétiques par rapport à une filière constituée seulement de membranes «haute pression» (nanofiltration ou osmose inverse).

LE CHARBON ACTIF

En raison de sa grande surface spécifique, le charbon actif peut adsorber de grandes quantités de polluants organiques dissous dans l'eau au niveau de ses pores internes. Le charbon actif joue un rôle essentiel dans l'élimination des matières organiques dissoutes et des molécules hydrophobes comme les hydrocarbures aromatiques, les hormones et pesticides ainsi que de nombreux composés du type perturbateurs endocriniens. Pour le traitement de ces molécules, le charbon actif est utilisé le plus souvent sous forme de charbon actif en poudre (CAP) qui sera couplé à un système de dosage permettant de réguler sa concentration.

A noter que de nouvelles technologies permettent désormais de s'affranchir

des systèmes de dosage, notamment en industrie.

Le charbon actif est déjà largement utilisé sur les filières de production d'eau potable. Il existe une large gamme de CAP qui possèdent des caractéristiques spécifiques d'adsorption permettant de s'adapter à des configurations différentes.

Selon la filière de traitement et le type de micropolluants, la concentration et le type de charbon actif détermineront l'efficacité du traitement. Pour exploiter pleinement les potentiels de cette technologie, il convient de définir clairement les objectifs de traitement, ainsi que le type de la filière amont d'un point de vue qualitatif et quantitatif.



Filtre à charbon actif

L'OZONATION



Générateur d'ozone

L'ozone (O_3) est produit à partir d'un gaz vecteur (l'oxygène de l'air ou l'oxygène pur) qui circule dans un « espace de décharge » sous l'action d'un champ électrique haute tension (4 à 20kV).

Le gaz ozoné est ensuite injecté à l'eau sous forme de fines bulles au travers de diffuseurs poreux immergés au fond des tours de contact. D'autres procédés peuvent être mis en œuvre pour injecter ce gaz ozoné: injection en ligne, turbines, etc...

L'oxydation chimique des composés organiques en phase aqueuse a lieu de deux manières:

- l'oxydation directe qui est sélective et concerne principalement les composés aromatiques, les phénols, les amines, les composés soufrés et les structures moléculaires à doubles liaisons carbone/carbone ;
- l'oxydation indirecte par l'intermédiaire des radicaux hydroxyles, non sélectifs, qui ont un pouvoir oxydant plus fort et peuvent de ce fait dégrader presque tous les types de molécules jusqu'au stade ultime de la minéralisation.
- En traitement des eaux usées, ces deux voies réactionnelles ont lieu simultanément de sorte que la sélectivité de l'attaque de l'ozone moléculaire est utilement complétée par l'action non sélective du radical hydroxyle.

A titre d'exemple, l'ozonation appliquée à une dose d'ozone minime (< 5 mg/L)

et avec un très faible temps de contact (< 3 minutes) parvient à réduire de plus de 98% les concentrations en bêtabloquants et produits pharmaceutiques.

Dans certains cas, il est utile d'associer l'ozone avec d'autres technologies. Les procédés d'oxydation avancée basés sur des couplages ozone/péroxyde d'hydrogène ou ozone/UV peuvent amener une certaine amélioration des taux d'abattement pour les substances les moins réactives vis-à-vis de l'ozone moléculaire telles que l'AMPA (principal produit de dégradation du glyphosate) ou l'atrazine.

Lors de la conception du système, il est nécessaire de veiller au respect des préconisations de sécurité liées à l'utilisation de l'ozone (matériaux utilisés, ventilation des locaux, détection des fuites).

Dans le cas d'une production d'ozone à partir d'oxygène pur, il est possible de recycler les événements des tours d'ozone afin d'alimenter en oxygène les bassins d'aération de l'usine de traitement des eaux usées.

LES RÉACTEURS À LAMPES UV

Les rayonnements UVc (longueur d'onde de 254nm) sont biocides et émis par des lampes à mercure basse et moyenne pression. Les lampes basse pression émettent un rayonnement quasi monochromatique à 254nm alors que les lampes moyenne pression émettent un rayonnement polychromatique (spectre plus large autour de la longueur d'onde 254nm). Un appareil de traitement UV se compose d'une ou plusieurs lampes placées dans des gaines de quartz. Perpendiculaires ou parallèles au flux d'eau, ces lampes peuvent être assemblées dans un carter cylindrique (réacteur fermé) ou être plongées directement dans l'eau d'un canal (réacteur à canal ouvert).

La dégradation des micropolluants par les réacteurs à lampe UV peut se faire de deux façons différentes :

- la photolyse: les rayonnements UV ont une activité photochimique importante, c'est pourquoi les micropolluants qui absorbent fortement dans l'UV (groupements aromatiques, doubles et triples liaisons...) seront dégradés ;
- les procédés d'oxydation avancée: l'association de la technologie UV avec d'autres oxydants ou catalyseurs (ozone, peroxyde d'hydrogène, oxyde de titane...) permet la création de radicaux libres très réactifs ($\cdot\text{OH}$) qui éliminent les micropolluants par oxydation radicalaire. Cette association nécessite un dosage précis des oxydants et catalyseurs à adapter en fonction du polluant à traiter.



Réacteur à lampes UV

Pour une efficacité maximale du traitement, une filtration préalable est nécessaire pour obtenir une eau de bonne transmittance et de faible turbidité. Le SIET préconise de mettre en place une mesure de la transmittance en continu (appareils de mesure qui peuvent être intégrés aux réacteurs) afin de garantir l'efficacité du traitement.

LA CHLORATION

Le chlore gazeux, les hypochlorites et le dioxyde de chlore sont utilisés comme oxydants et désinfectants rémanents.

Ils peuvent être des oxydants

économiques et rapides des micropolluants métalliques. Ces derniers précipités peuvent être ensuite éliminés par filtration sur media.

Selon la présence d'autres micropolluants dans l'eau à traiter, il faudra vérifier l'absence de formation potentielle de sous-produits indésirables.

Abréviations

- **CAG:** Charbon Actif en Grains
- **CAP:** Charbon Actif en Poudre
- **MES:** Matières En Suspension

Principaux textes de référence

Cadre réglementaire européen

- Directive 98/83/CE du conseil du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine
- Directive n° 2000/60/CE du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau
- Directive 2006/118/CE du Parlement européen et du Conseil, du 12 décembre 2006, sur la protection des eaux souterraines contre la pollution et la détérioration
- Directive 2008/105/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 établissant des normes de qualité environnementale dans le domaine de l'eau, modifiant et abrogeant les directives du Conseil 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE, 86/280/CEE et modifiant la directive 2000/60/CE
- Directive 2013/39/UE du Parlement européen et du Conseil du 12 août 2013 modifiant les directives 2000/60/CE et 2008/105/CE en ce qui concerne les substances prioritaires pour la politique dans le domaine de l'eau

Cadre réglementaire français

- Code de l'environnement, partie législative et notamment les articles L211-1 à L211-4
- Code de l'environnement, partie réglementaire et notamment les articles R. 212-5, R. 212-10, R. 212-11, R. 212-18, R. 212-22, R. 213-12-2
- Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R.1321-2, R.1321-3, R.1321-7 et R.1321-38 du code de la santé publiques
- Arrêté du 17 décembre 2008 établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines
- Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement
- Arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement.





Téléchargez toutes les fiches du siet sur www.siet-info.com

siet 

LES ENTREPRISES DES TECHNOLOGIES DE L'EAU

9 rue de Berri - 75008 Paris

Tél.: 01 45 63 70 40 • Fax: 01 42 25 96 41

Web: www.siet-info.com • E-mail: info@siet-info.com