

1. Principes

La désinfection de l'eau destinée à la consommation humaine est l'étape finale indispensable dans toute filière de traitement de potabilisation de l'eau avant sa distribution et correspond à la destruction ou l'inactivation des micro-organismes pathogènes pour l'homme.

Les principaux types de désinfection utilisés actuellement pour parvenir à ce résultat sont :

- la désinfection physico-chimique qui consiste à ajouter des réactifs chimiques tels que :
 - des composés chlorés comme le chlore gazeux, le dioxyde de chlore ou l'eau de Javel,
 - l'ozone,
- la désinfection physique notamment :
 - la stérilisation par les rayonnements ultraviolets (lampes),
 - la désinfection par le biais de traitement membranaire tel que l'osmose inverse.

Le décret 2001-1220 du 20 décembre 2001 pris en application de la directive européenne 98/83/CE fixe les limites de qualité de l'eau destinée à la consommation humaine. Ce décret prévoit, entre autres, « la mesure du chlore libre et total ou de tout autre paramètre représentatif du traitement de désinfection » au point de mise en distribution ainsi qu'au robinet du consommateur.

Les produits à base de chlore tels que le chlore gazeux, l'eau de Javel ou le dioxyde de chlore sont les oxydants les plus largement utilisés pour la désinfection de l'eau destinée à la consommation humaine. Les usines les plus importantes utilisent davantage l'ozone ce qui n'empêche pas une chloration finale avant distribution.

2. Les techniques de chloration

Les étapes liées à la désinfection

La chloration peut être faite à tout moment. Il n'y a pas d'étape spécifique où le chlore peut-être ajouté.

➤ **La pré-chloration**

La pré-chloration consiste à ajouter du chlore à l'entrée des eaux brutes dans l'usine de potabilisation.

Lors de l'étape de pré-chloration, le chlore est habituellement ajouté directement à l'eau non traitée, il est introduit dans un mélangeur pour une meilleure uniformisation du mélange. Cela a pour effet, d'enlever les odeurs, le goût et permet de contrôler la croissance biologique au cours du traitement. Le chlore oxydara aussi le fer, le manganèse et/ou le sulfure d'hydrogène, présent lors du processus de sédimentation.

➤ **La post-chloration**

La post-chloration unique en sortie d'usine a longtemps été la règle en matière de désinfection. Mais l'apparition de réseaux très longs fortement interconnectés a mis en évidence la nécessité d'une désinfection intermédiaire en réseau.



Unité de chloration
par chlore gazeux

Cette rechloration pourra être effectuée au niveau d'un poste de relevage ou d'un réservoir intermédiaire. Le but étant de maintenir un taux de résiduel de désinfectant, seul un composé chloré est adapté. La rechloration ne constitue pas une désinfection par elle-même.

Elle peut s'effectuer à l'aide de chlore gazeux, d'hypochlorite de sodium (eau de javel) ou de dioxyde de chlore.

L'installation type pour une rechloration en réseau d'eau potable est composée de :

- une bouteille de chlore
- un analyseur de chlore résiduel ou de débit
- un chloromètre
- un hydroéjecteur

Désinfection au chlore gazeux

Le chlore gazeux est simple d'utilisation notamment sur un forage de faible débit en zone rurale. Une bouteille de chlore gazeux et un organe de dosage sont nécessaires mais il n'y a pas besoin d'alimentation électrique dans la mesure où le débit d'eau à traiter est constant.

Le chlore gazeux est livré et stocké sous forme liquéfiée dans des bouteilles en acier. Il est recommandé d'installer ces bouteilles en 2 unités parallèles afin de basculer l'alimentation de l'une à l'autre sans interruption du dosage.

Par connexion sur la bouteille, après détente dans un chloromètre, le chlore gazeux est mélangé grâce à un hydroéjecteur à une eau de service, ce qui permet la production d'une solution aqueuse concentrée de chlore.

Des appareils de contrôle doivent être installés tels qu'un débitmètre de chlore gazeux de préférence équipé d'un système d'alarme de débit minimal et un débitmètre sur l'arrivée d'eau de dilution permettant la fermeture automatique de la vanne d'arrivée du flux gazeux en cas de manque d'eau de service.

Désinfection à l'eau de Javel

La désinfection à l'eau de javel, ou hypochlorite de sodium, est simple à mettre en œuvre. Elle nécessite l'installation d'un bac de stockage de la solution diluée ainsi que d'une pompe doseuse et d'un système d'injection dans la conduite. Une alimentation électrique est nécessaire pour l'injection et le système d'asservissement au débit.

Elle peut se faire à différents endroits : à la crépine, au refoulement ou à la station. Toutefois, la chloration à la crépine reste déconseillée pour, d'une part, préserver les équipements de la corrosion, et d'autre part, ne pas interférer avec les analyses de l'eau brute réalisées dans le cadre du contrôle sanitaire. Les chlurations au refoulement ou en usine sont donc privilégiées.

L'hypochlorite de sodium en solution peut être soit achetée ou fabriqué in-situ par électrochloration.

Désinfection au dioxyde de chlore

Le dioxyde de chlore (ClO_2) est également appelé bioxyde de chlore. C'est un gaz orangé explosif à plus de 10% (concentration dans l'air). Pour des raisons de sécurité du fait de son instabilité, il doit être fabriqué sur place au dernier moment à partir de chlorite de sodium et d'acide chlorhydrique ou de chlorite de sodium et de chlore gazeux.

Contrairement au chlore ou à l'ozone, le dioxyde de chlore ne réagit qu'avec quelques composés organiques. Cette plus grande sélectivité augmente l'efficacité de ce désinfectant. Comme il n'oxyde pas l'ammoniaque, il peut être préféré au chlore, pour éviter de donner à l'eau un goût désagréable.

Le dioxyde de chlore est également plus efficace que le chlore pour l'inactivation des spores, bactéries, virus et autres organismes pathogènes. Son action est également rapide : temps de contact 2 à 3 fois plus court que pour le chlore.

3. Les techniques d'ozonation

L'ozonation est un traitement chimique par oxydation utilisé pour la stérilisation de l'eau. Il permet également la destruction d'un grand nombre de micropolluants et de bactéries qui auraient résisté à l'étape de filtration.

L'ozone possède un pouvoir désinfectant supérieur au chlore. Il est très efficace contre les virus à la différence du chlore. Il réagit également en oxydant le fer et le manganèse, qui sous leurs formes oxydes insolubles, sont éliminés par décantation et/ou filtration. Il est également efficace pour éliminer la coloration d'une eau souterraine.

C'est un composé instable : sa stabilité dans l'eau est de l'ordre de 10 à 20 minutes avant de se décomposer en oxygène. Une postchloration est souvent associée à la désinfection à l'ozone pour assurer un résiduel désinfectant dans le réseau de distribution.

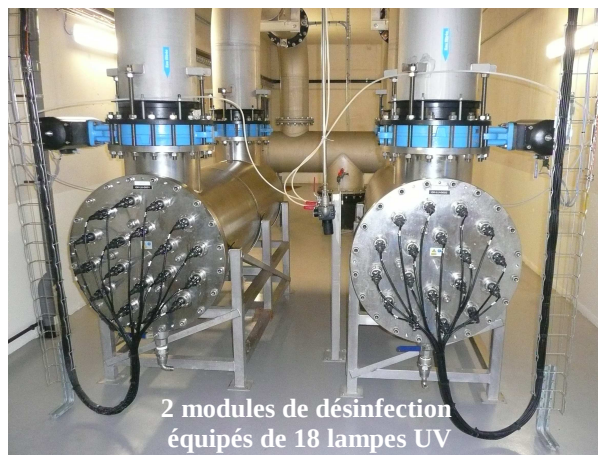
Il est généralement produit sur place à partir de l'oxygène pur. Une puissante décharge électrique sépare les molécules d'oxygène (O_2) qui se recomposent en ozone (O_3). Sa production est très consommatrice d'énergie et les coûts d'investissement sont importants. C'est pour cela qu'on trouve généralement ce procédé sur des usines de potabilisation de taille relativement importante.

Une installation d'ozonation comprend 4 parties :

- le traitement de l'air utilisé pour la production d'oxygène,
- le générateur électrique d'ozone appelé ozoneur,
- le transfert de l'ozone dans l'eau par turbinage, hydro-injection ou diffusion dans des cuves en béton armé,
- le système de récupération et traitement des événements ozonés.

4. Les autres techniques

La désinfection par Ultra Violet (UV)



2 modules de désinfection équipés de 18 lampes UV

Le traitement aux rayons UV désigne le procédé de désinfection où l'eau traverse une source lumineuse particulière. Protégée par un manchon transparent avant d'être immergée dans l'eau, l'ampoule émet des ondes ultraviolettes qui inactivent les micro-organismes pathogènes.

Les rayons ultraviolets, semblables à la lumière ultraviolette émise par le soleil, mais plus forts, modifient l'ADN des virus, des bactéries, des moisissures ou des parasites pour qu'ils ne puissent plus se reproduire, de sorte qu'ils sont considérés comme inactivés. Le traitement aux rayons ultraviolets n'altère pas la composition chimique de l'eau.

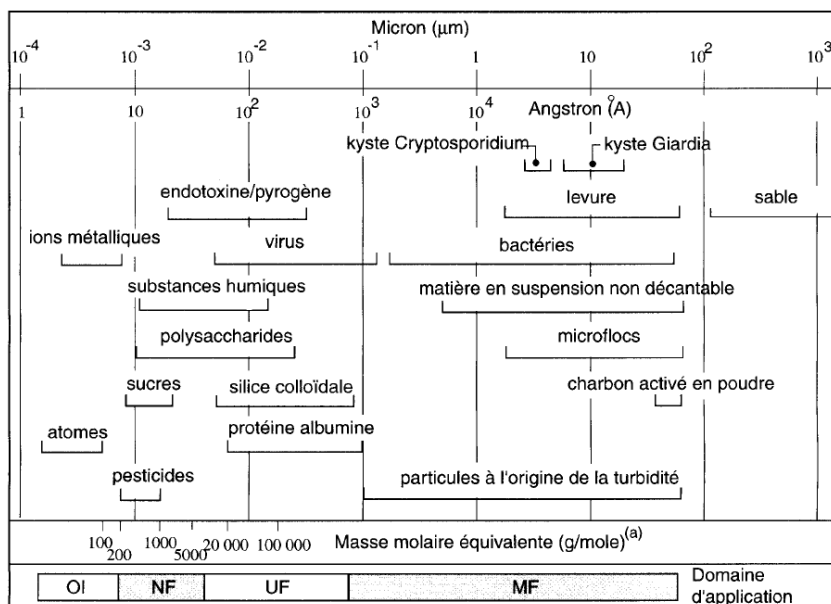
Le système de décontamination de l'eau par UV possède de nombreux avantages. Le plus intéressant est que la désinfection s'accompagne de la formation d'aucun produit de réaction avec les matières organiques de l'eau. L'utilisation de

l'appareil est simple, il est adaptable sur un circuit de distribution d'eau déjà en place, son entretien réduit et son coût de fonctionnement est relativement bas (remplacement des lampes).

Ces avantages sont contrecarrés par quelques inconvénients majeurs. Il n'y a pas de possibilité d'apprécier de façon immédiate l'efficacité du traitement par la mesure d'un résiduel comme dans le cas d'un oxydant chimique. Il n'y a pas d'effet rémanent. L'emploi de la désinfection par UV est donc réservé à la désinfection d'eaux dont le circuit de distribution est court et bien entretenu. Enfin, le bon fonctionnement de l'appareil nécessite une eau peu turbide.

La filtration membranaire

La filtration membranaire est une méthode physique basée sur l'application d'une différence de pression qui permet le transfert du solvant (l'eau) à travers une membrane dont la taille des pores assure la rétention de solutés (matières indésirables). Ces opérations, classées selon une taille des pores décroissantes, sont : la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nanofiltration (NF) et l'osmose inverse (OI).



Modules de filtration membranaire

Différents composés rencontrés dans les eaux naturelles et les techniques permettant leur élimination (BOUCHARD et al. – 2000)

Elle présente le très gros avantage de n'utiliser aucun réactif chimique, sauf pour leur entretien. Très fiables, elles permettent de traiter des eaux très polluées et de produire une eau très pure, sans goût désagréable ni mauvaises odeurs, et de qualité constante, quelles que soient les variations de qualité de l'eau à traiter. L'inconvénient majeur réside dans le coût d'investissement et de fonctionnement qui reste élevé.

SYNTHESE :

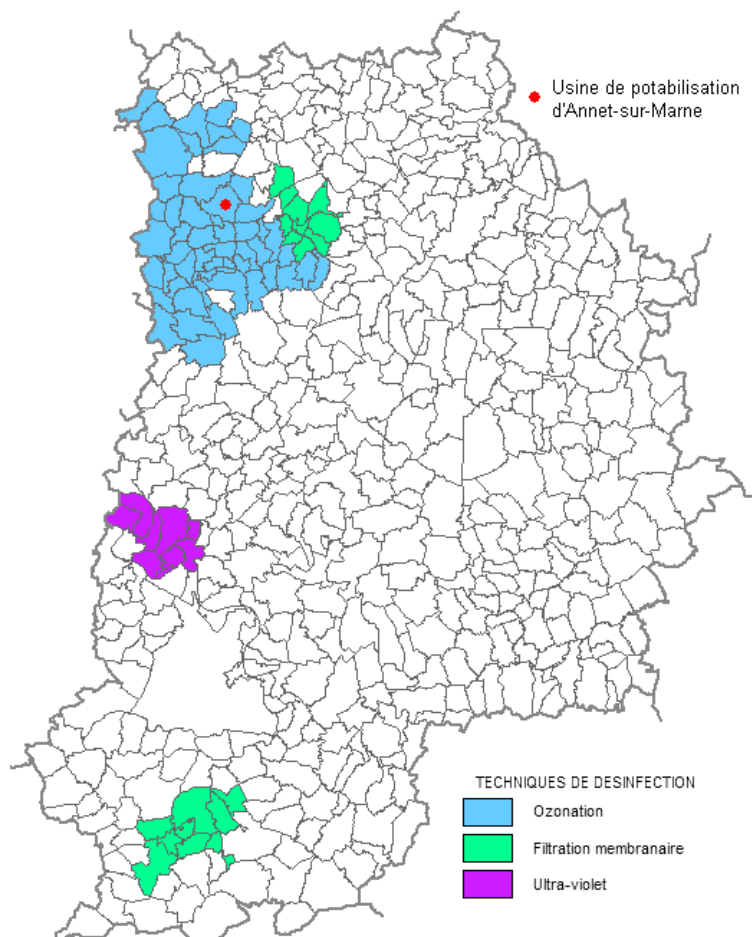
Critères	Eau de Javel	Ozone	Chlore gazeux	Dioxyde de chlore	U.V.	Microfiltration
Désinfectant actif	HClO ⁺	O ₃	HClO ⁺	ClO ₂	λ = 254 nm	Filtration physique
Grandeur de l'installation	Petite	Grande	Grande	Moyenne/grande	Petite/moyenne	Très petite
Adaptation aux faibles débits	Bonne	Mauvaise	Mauvaise	Mauvaise	Bonne	Bonne
Investissement	Faible	Important	Important	Moyen	Moyen	Faible
Nécessité d'un génie civil dédié	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Oui
Entretien	Faible	Faible	Faible	Faible	Moyen	Important
technicité	Simple	Complexe	Complexe	Moyenne	Simple	Complexe
Autonomie en absence d'exploitation	Faible	Bonne	Bonne	Faible	Très bonne	Bonne
Rémanence	Bonne	Quasi-nulle	Bonne	Très bonne	Nulle	Nulle
Goût / odeur	Caractéristique	Nul	Caractéristique	Nul	Nul	Nul
Efficacité sur Fer / manganèse	Faible	Forte	Faible	Moyenne	Faible	Nulle
Efficacité sur l'ammoniaque	Forte	Nulle	Forte	Nulle	Nulle	Nulle
Efficacité germicide	Bonne	Excellente	Bonne *	Très bonne	Très bonne mais attention aux MES***	Bonne
Inefficace contre			Virus * protozoaires		Algues, moisissures**	Virus
pH optimal	5 < pH < 7.5	6 < pH < 10	5 < pH < 7.5	6 < pH < 10		
Formation de sous produits	THM (TriHaloMéthanes)	Aldéhydes	THM	Chlorites et chlorates		Aucun
Influence des très basses températures	Importante	Nulle	Nulle	Nulle	Nulle	Nulle

* dépend du pH de l'eau

** : nécessite des doses d'exposition très élevées

*** : matières en suspension

Source : OlEau



5. La situation en Seine-et-Marne

En Seine-et-Marne, hormis la chloration qui est quasi généralisée sur l'ensemble des sites de production d'eau potable dans le département, seule l'usine de traitement de l'eau d'Annet-sur-Marne, dont l'eau brute est pompée en Marne, possède une désinfection plus poussée par ozonation. Aujourd'hui, 52 communes bénéficient d'une eau traitée par ce procédé.

L'usine de potabilisation de Boissise-la-Bertrand désinfecte à l'ultra-violet.

Le Syndicat Intercommunal d'Alimentation en Eau Potable de Nemours-Saint-Pierre ainsi que le Syndicat Mixte de Production et d'Alimentation en Eau Potable du confluent des Vallées Marne & Morin utilisent, quant à eux, des filtres sur membrane.

Source :

- Document technique FND AE n°2, « Définition des caractéristiques techniques de fonctionnement et domaine d'emploi des appareils de désinfection », Fonds National pour le Développement des Adductions d'Eau, Office International de l'Eau.
- « Qu'est-ce que la chloration ? », FEPS, Fondation de l'Eau Potable Sûre

Les pesticides, souvent très solubles dans l'eau, contribuent à la dégradation de la ressource par ruissellement ou infiltration. Etant potentiellement dangereux pour la santé humaine, leur élimination est un enjeu pour l'alimentation en eau potable. Bien que des techniques curatives existent, la meilleure solution pour diminuer les concentrations en pesticides dans l'eau reste la réduction de leur usage.

1 - Réglementation

La Directive européenne 98/83/CE du 3 novembre 1998, transposée en droit français par le décret 2001-1220 du 20 décembre 2001, fixe les concentrations maximales dans l'eau potable distribuée à :

- 0,1 µg/l (microgramme/litre) par pesticide et par produit de dégradation
- 0,5 µg/l pour l'ensemble des pesticides et produits de dégradation

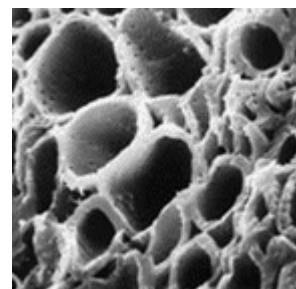
2 - Techniques d'élimination des pesticides pour l'eau potable

En raison de la solubilité des pesticides, les procédés classiques de traitement de l'eau (clarification, filtration sur sable, désinfection) sont inefficaces pour leur élimination. Des traitements spécifiques comme l'adsorption sur charbon actif ou la filtration membranaire doivent alors être envisagés.

Adsorption : Capacité d'un corps de retenir des molécules à sa surface.

2.A - Adsorption par charbon actif

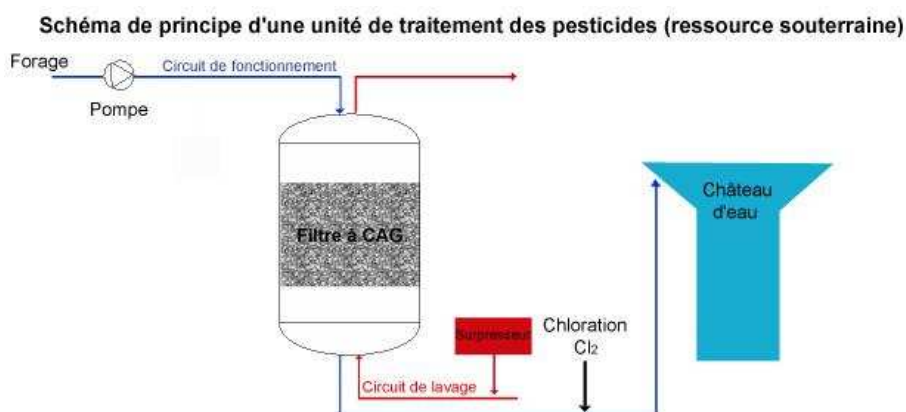
La grande capacité d'adsorption des matières organiques et des pesticides par le charbon est liée à sa forte porosité. Afin d'augmenter encore sa microporosité et sa capacité d'adsorption, on l'active par traitement thermique. Le charbon devient alors du Charbon Actif.



Structure d'un charbon actif

Charbon Actif en Grain (CAG)

Pour retenir et fixer les pesticides, on utilise, en fin de chaîne de traitement, un filtre cylindrique contenant du Charbon Actif en Grain (dit lit filtrant au CAG) qui peut aussi remplacer la filtration sur sable.



Afin d'éviter la saturation progressive des pores du CAG au cours de l'utilisation du filtre et donc une perte de ses capacités d'adsorption, il est indispensable de l'entretenir et de le régénérer par :

- lavages réguliers à l'eau associés à un détassage à l'air,
- remplacement et régénération périodique par traitement thermique (préconisation annuelle souhaitable).

Charbon Actif en Poudre (CAP)

Le Charbon Actif en Poudre est composé de particules de charbon actif très fines. Il est utilisé en injection en amont de la filière de traitement (avant l'étape de clarification) et doit être séparé de l'eau (par

décantation/filtration) après avoir adsorbé les pesticides. Ce procédé implique un usage unique du CAP (éliminé avant d'être saturé) et engendre un coût important de fonctionnement.

L'utilisation de CAP peut répondre à plusieurs applications :

- pour le traitement ponctuel, suite à une période de crise de pollution (orage, déversement accidentel),
- en première phase d'adsorption, en amont d'un passage sur un filtre à CAG, pour réduire la vitesse de saturation du filtre,
- en usage exclusif et couplé avec une filtration sur membrane pour permettre son élimination.

Avantages et inconvénients

Les deux types de charbon actif ne sont pas en concurrence dans leur utilisation et sont souvent complémentaires.

CAG	CAP
+ Adapté et utilisé en cas de pollution chronique, + Bon rapport coût/efficacité.	+ Souple d'utilisation (dosage selon concentrations), + Complémentaire au filtre à CAG pour le préserver et écrêter les pics de pollution, - Rendement d'élimination des pesticides faible.

2.B - Filtration membranaire

Une seconde technique consiste à filtrer l'eau sur une membrane semi-perméable qui retient les micropolluants dont les pesticides, et laisse passer l'eau. Deux types de techniques, se différenciant par le diamètre des pores des membranes, peuvent être utilisés :

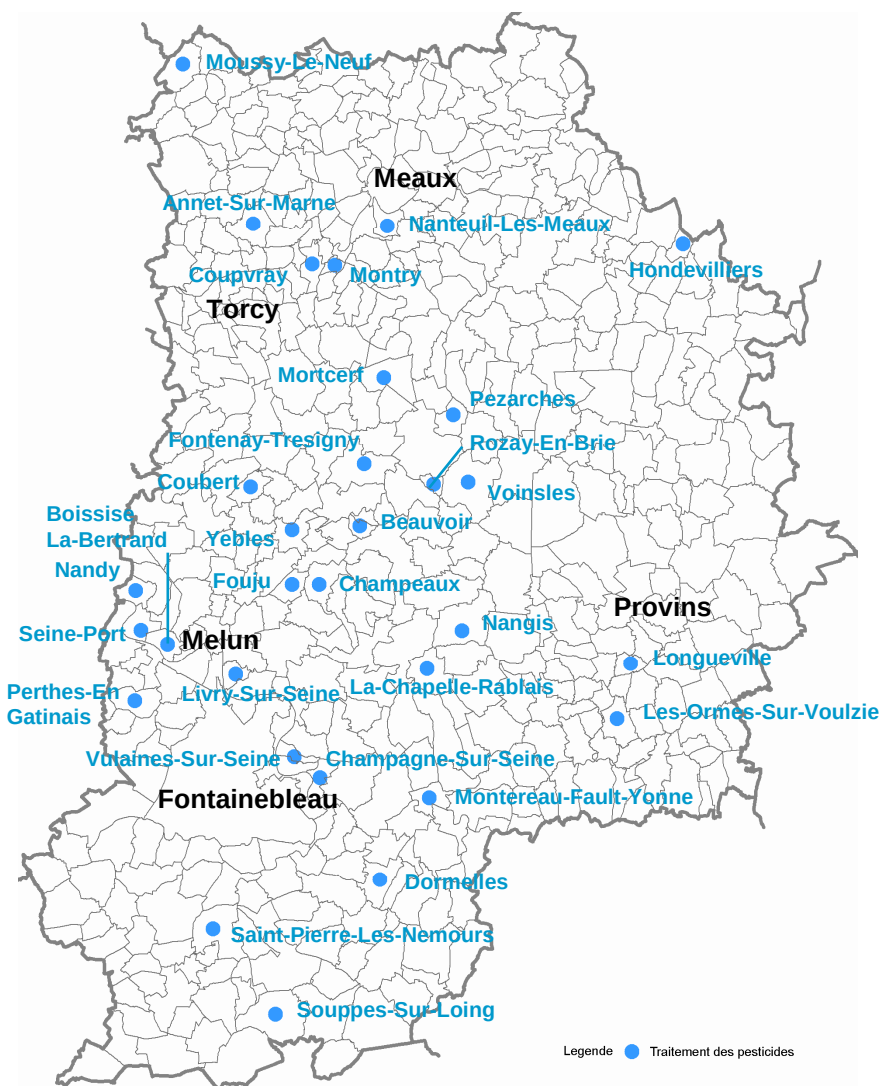
- la nanofiltration,
- l'osmose Inverse.

Ces techniques, peu utilisées car très coûteuses (particulièrement la nanofiltration), peuvent être intéressantes dans le cas d'une eau brute avec plusieurs paramètres à traiter (dureté, pesticides, nitrates,...). En effet, la filtration membranaire n'est pas encore la solution optimale pour un traitement exclusif de ce paramètre.

3 - Ouvrages en Seine et Marne

Exemple de quelques **constructeurs** en Seine et Marne : OPALIUM, OTV, DEGREMONT, SAUR, STEREAU, MARTEAU...

Exemple de quelques **usines de traitement** des pesticides en Seine et Marne : Perthes en Gâtinais (60 m³/h), St Pierre les Nemours (600 m³/h), Dormelles (100 m³/h),...



Cuve de traitement à CAG



Compresseur de détassage de CAG

4 - Pour aller plus loin

Guide technique : [Les pesticides dans l'eau potable](#) - Ministère de la Santé et de la Solidarité.

Les nitrates sont naturellement présents dans les sols et dans l'eau. Cependant, une forte concentration de nitrates, générée par les activités humaines (engrais, épandage de lisier, eaux usées non traitées...), peut être dangereuse pour la santé humaine (en particulier les nourrissons) car ils se dégradent en nitrites toxiques dans l'organisme. Au-delà de l'enjeu pour l'alimentation en eau potable, l'excès de nitrates peut être aussi responsable de l'eutrophisation des cours d'eau (asphyxie du milieu naturel par prolifération algale).

1 – Réglementation

La Directive européenne 98/83/CE du 3 novembre 1998, transposée en droit français par le décret 2001-1220 du 20 décembre 2001, fixe la concentration maximale dans l'eau potable distribuée à 50 milligramme de nitrates par litre (50 mg/l).

2 - Techniques d'élimination des nitrates pour l'eau potable

L'élimination des nitrates, très solubles dans l'eau, fait appel à des techniques particulières. Il existe trois filières de traitement homologuées par le ministère de la santé : un traitement physico-chimique consistant en une dénitratation par résine échangeuse d'ions, un traitement biologique par dénitrification et un traitement physique par filtration membranaire.

Chaque traitement permet d'éliminer totalement les nitrates, c'est la raison pour laquelle seule une partie des eaux est traitée, puis diluée avec les eaux brutes afin de respecter une valeur prédéfinie, le plus souvent de l'ordre de 20 à 25 mg/l.

2.A - Dénitratation par résine échangeuse d'ions

L'échange ionique consiste à transférer des ions indésirables de l'eau brute (les ions nitrates) sur un support insoluble, appelé échangeur d'ions (le plus souvent sous forme de billes de polymères de diamètre compris entre 0,4 et 0,8 mm), qui les capte et libère en contrepartie une quantité équivalente d'ions (les ions chlorures) dont la présence n'est pas gênante dans la mesure où la concentration limite (200 mg/l) n'est pas dépassée. Ce procédé, relativement ancien et répandu, est automatisable et ses performances sont indépendantes des variations des débits dans la limite de sa capacité.

Pour les eaux de nappes, aucun prétraitement n'est généralement fait avant le passage sur résine et seule une désinfection (chloration) est nécessaire en sortie. Pour les eaux de surface, la filière optimale préconise un passage en décanteur, puis sur filtre de charbon actif pour une meilleure protection des résines.

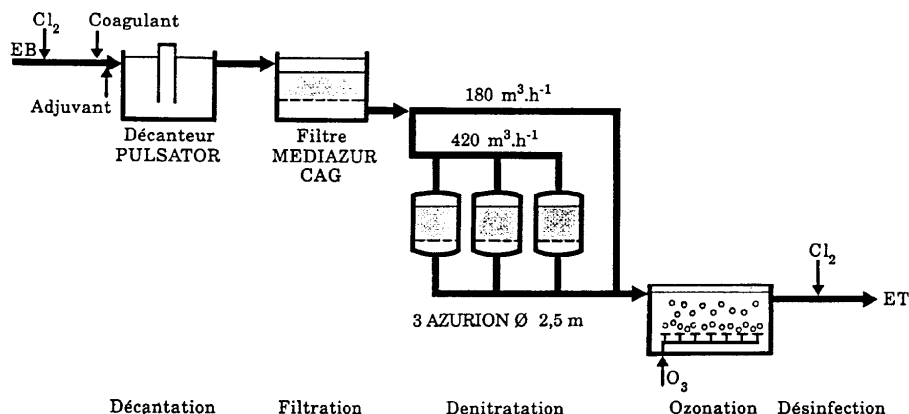


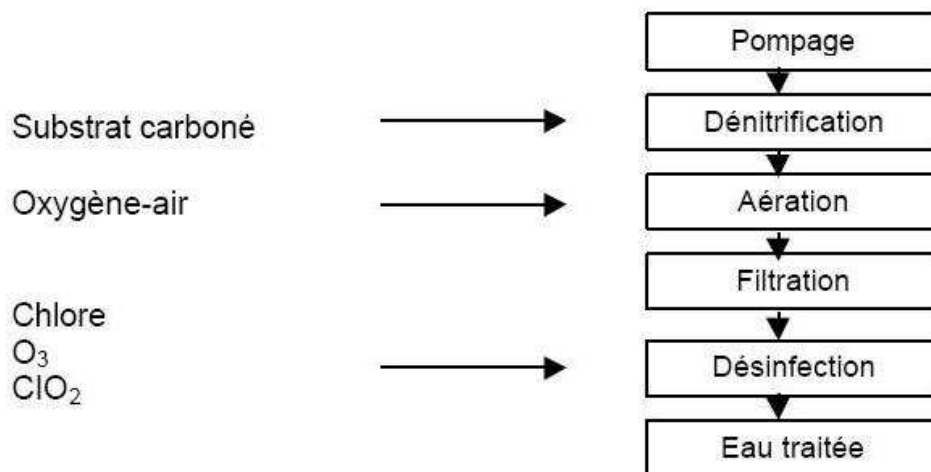
Schéma de principe d'Azurion (source : TSM) sur une eau de surface

Pour permettre un bon fonctionnement de ce procédé de traitement, l'eau brute doit contenir peu de sulfates (qu'elle fixe préférentiellement) et de matière organique (qui la colmate). Ainsi, il est parfois utile de pré-traiter l'eau par passage sur un filtre bi-couche sable/charbon en amont.

L'exploitation de ce type d'unité nécessite un lavage et un détassage périodique (tous les 3-4 jours). Après saturation (dépassement de la capacité de stockage et donc d'échange), les résines doivent être régénérées par passage d'un régénérant de type saumure (Chlorure de Sodium) généralement à contre-courant (sens inverse de l'eau en cycle de production). Au cours de cette période, les éluats (saumure résiduelle + eau de lavage), riches en nitrates et sulfates, sont le plus souvent éliminés vers le réseau d'assainissement.

2.B - Dénitrification par traitement biologique

La dénitrification résulte de l'activité bactérienne. En l'absence d'oxygène (milieu anoxique), les bactéries fixées sur un matériau support (généralement des argiles) transforment les nitrates en azote gazeux et en oxygène. Quel que soit le procédé utilisé, la filière type de dénitrification peut être schématisée de la façon suivante:



Source Fndae n°4bis

En tête de filtre, un réactif (généralement de l'éthanol) est injecté afin de favoriser le métabolisme des bactéries (apport de matières carbonées). Puis des post-traitements (aération, filtration, désinfection) sont réalisés avant la distribution.

La dénitrification biologique a l'avantage de procéder à la décomposition totale des nitrates, et d'être peu sensible à la teneur en matière en suspension de l'eau à traiter. Par contre, son exploitation est plus compliquée, elle est sensible aux variations de débit et de température et est influencée par l'âge des bactéries nitrifiantes. Elle nécessite un personnel spécifiquement formé.

Pour des installations de faible capacité, le procédé biologique n'est donc pas recommandé.

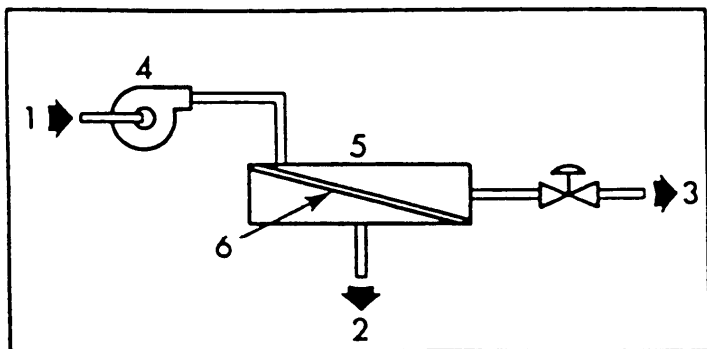
2.C - Elimination des nitrates par filtration membranaire

Une troisième technique consiste à filtrer l'eau sur une membrane semi-perméable qui retient les micropolluants dont les pesticides, et laisse passer l'eau. Pour permettre la séparation entre l'eau et les éléments à éliminer, on utilise une force extérieure :

- La pression (30 à 60 bars) pour la nanofiltration et l'osmose inverse,
- Un champ électrique pour l'électrolyse.

Les membranes utilisées ont des pores extrêmement petits (<0,01 µm pour la nanofiltration et <0,001 µm pour l'osmose inverse), soit 10 000 à 100 000 fois plus petit qu'un cheveu (1 µm = 10⁻⁶ mm).

Le procédé par membranes est le procédé qui fournit la meilleure qualité d'eau en éliminant aussi tous les autres polluants, mais son coût actuellement élevé n'est pas adapté aux petites unités. Il peut être particulièrement intéressant dans le cas d'une multi-pollution à traiter (dureté, nitrates, pesticides,...). Par contre, il est indispensable de le protéger par un pré-traitement efficace contre les matières en suspensions (turbidité) par passage sur un filtre bi-couche sable/charbon en amont. Les éluats et autres effluents de lavage chimique des membranes doivent être évacués en station d'épuration ou en centre de traitement.



- | | |
|-----------------|-----------------------------|
| 1 _ Eau Brute | 4 _ Pompe haute pression |
| 2 _ Eau Traitée | 5 _ Module d'Osmose inverse |
| 3 _ Concentrat | 6 _ Membrane semi-perméable |

Schéma du procédé d'osmose inverse (source : Ratel)



Illustration de procédés membranaires

Il faut préciser qu'en France, seule la nanofiltration est utilisée à grande échelle pour la production d'eau potable (par exemple à l'usine de St Méry sur Oise, 140 000m³/j). L'osmose inverse étant plutôt utilisée en Espagne ou dans les pays du golfe persique pour dessaler l'eau de mer.

3 – Ouvrages en Seine et Marne

Exemple de quelques usines de traitement des nitrates en Seine et Marne : Perthes en Gâtinais (60 m³/h), St Pierre les Nemours (600 m³/h),...

Exemple de quelques constructeurs en Seine et Marne : OPALIUM, OTV, DEGREMONT, SAUR, STEREAU, MARTEAU...

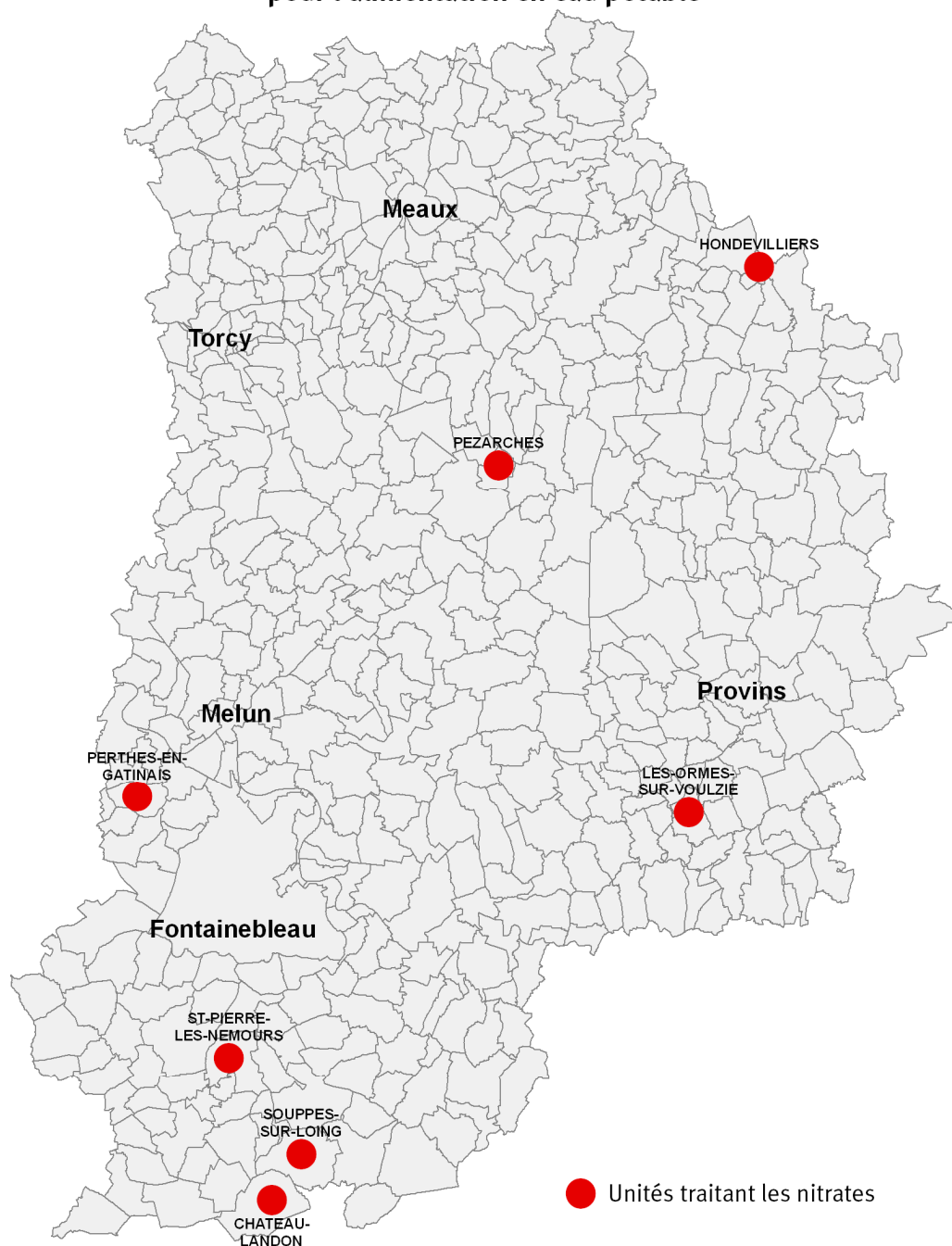


Perthes en gâtinais – Résine échangeuse d'ions



Nemours – Filtre avec traitement biologique

Unités de traitement des nitrates en Seine-et-Marne pour l'alimentation en eau potable



Sources : CG77 - SIG - DEE

4 - Pour aller plus loin

Elimination des nitrates des eaux potables : Fiche Fndae n°4bis :
<http://www.fndae.fr/documentation/PDF/fndaehs04bis.PDF>

Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau : Fiche Fndae n°14 :
<http://www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae14.pdf>

Le fer est un des métaux les plus abondants de la croûte terrestre. Sa présence dans l'eau est due principalement au lessivage des sols (avec dissolution des roches et minerais), aux rejets industriels et à la corrosion des canalisations métalliques. A l'état de trace, le fer est un oligoélément indispensable à la santé humaine.

Le manganèse est également présent naturellement dans le sol, bien que moins abondamment que le fer ; sa présence dans l'eau est liée à l'érosion des roches, voir à certains rejets industriels.

Des concentrations en fer ou en manganèse, même élevées, ne constituent pas de risques pour la santé humaine. Néanmoins, leur forte concentration dans l'eau est source de désagrément : goût métallique, odeurs putrides, tâches sur le linge et les sanitaires, dépôts ferrugineux bouchant les canalisations et corrosion liée au développement de bactéries.

1 - Réglementation

La Directive européenne 98/83/CE du 3 novembre 1998, transposée en droit français par le décret 2001-1220 du 20 décembre 2001, fixe comme références de qualité maximale dans l'eau potable distribuée une concentration de :

- 0,2 mg/l (milligramme/litre) pour le fer total,
- 0,05 mg/l (milligramme/litre) pour le manganèse.

2 - Techniques d'élimination du fer et du manganèse pour l'eau potable

2.A - Techniques d'élimination du fer

L'oxydation chimique

A pH > 4, le fer dissous est présent sous forme de fer ferreux. Il suffit de l'oxyder en fer ferrique pour qu'il précipite. Cette oxydation est possible en réalisant une simple aération, les différentes techniques d'oxydation sont :

- le ruissellement en nappe mince au contact de l'air ;
- la pulvérisation de l'eau en atmosphère plus ou moins oxygénée (buses, aérateurs de surface) ;
- la diffusion de gaz surpressé (air, oxygène ou air ozoné) ;
- le barbotage avec de l'air au sein d'une masse catalytique (pouzzolane).

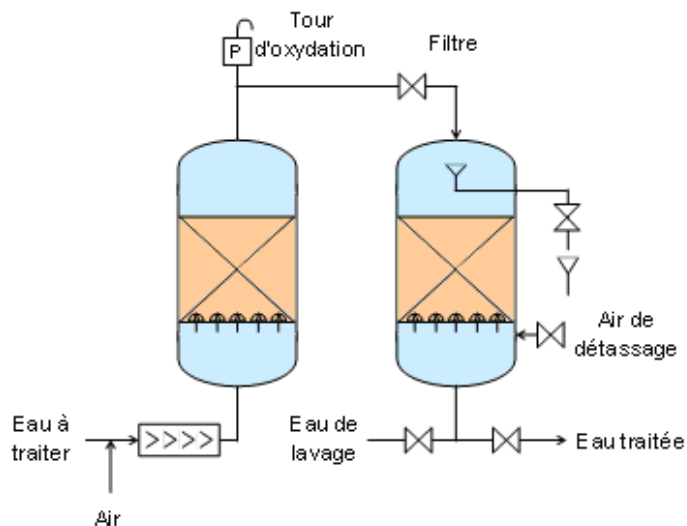
La réaction d'oxydation est d'autant plus rapide que le pH est élevé et que l'eau est proche de la saturation en oxygène. Par contre la présence de matières organiques retarde la réaction, nécessitant alors un traitement complémentaire, consistant :

- soit en une injection d'un oxydant puissant, permanganate de potassium, ozone,
- soit en une coagulation si les précipités obtenus sont très fins, risquant de ce fait de ne pas être retenus au niveau de la filtration.

Pour les cas difficiles, la filtration peut être du type bicouche (anthracite + sable).

Le procédé physico-chimique le plus classique (figure ci-dessous) consiste en une installation fonctionnant sous pression, comportant en amont de la filtration, une tour d'oxydation remplie de pouzzolane qui procure une grande surface de contact.

Remarque : pour des eaux contenant plus de 10 mg/l de fer, il doit être interposé une étape de décantation entre l'aération et la filtration.



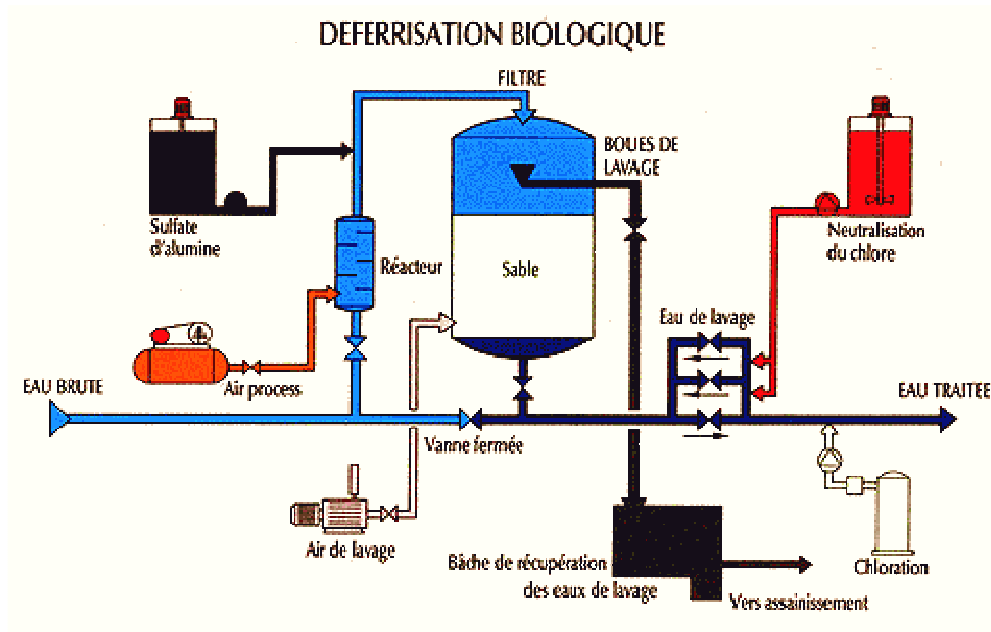
Source : GLS – MEMOTEC n°16



Source : Eaupure

L'oxydation biologique

Pour que certaines bactéries spécifiques (ferrobactéries), tirent leur énergie de l'oxydation du fer, de nombreuses conditions doivent être réunies : teneur en oxygène, pH, température de l'eau, potentiel redox... Les principales bactéries utilisant le fer sont autotrophes, c'est-à-dire que leur source de carbone est minérale (HCO_3^- , CO_2). La déferrisation est réalisée dans des filtres à sable colonisés par les souches bactériennes spécifiques du fer. Un apport d'oxygène, plus ou moins important en fonction du pH, est réalisé en amont du filtre, afin de favoriser le développement des bactéries, et en aval, pour revenir à un taux d'oxygène normal dans l'eau après consommation par les bactéries.

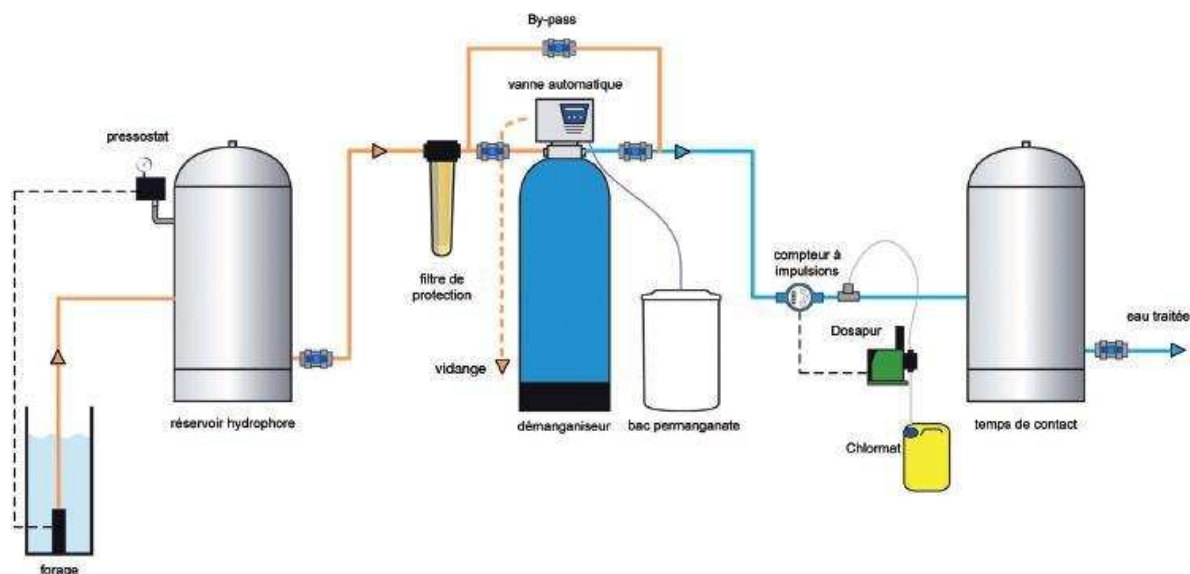


Source : Pravarini

2.B - Techniques d'élimination du manganèse

Oxydation chimique par le permanganate de potassium

Contrairement au fer, l'oxydation du manganèse par l'air est très lente, on doit recourir à un oxydant plus puissant, comme le permanganate de potassium (KMnO_4).



Source : OCENE

Une partie de l'oxyde de manganèse se fixe sur le sable, et sert ensuite de catalyseur à la réaction d'oxydation du manganèse, ce qui permet de diminuer la dose de permanganate à injecter. La dose de permanganate de potassium ne doit pas être introduite en excès, car cela entraînerait la coloration rose de l'eau.

Démanganisation biologique

La présence de manganèse dans l'eau, associée à des conditions favorables (teneur en oxygène, pH, température de l'eau, potentiel redox...), permet le développement de bactéries spécifiques tirant leur énergie de la réaction d'oxydation du manganèse. Ces bactéries sont hétérotrophes, c'est-à-dire que leur source de carbone est organique.

Afin d'obtenir des conditions idéales au développement bactérien, on injecte de l'air (50 à 90% de la saturation) en amont du filtre à sable servant de support au développement bactérien. Ces microorganismes consommant de l'oxygène, il est donc nécessaire d'en réinjecter en aval.

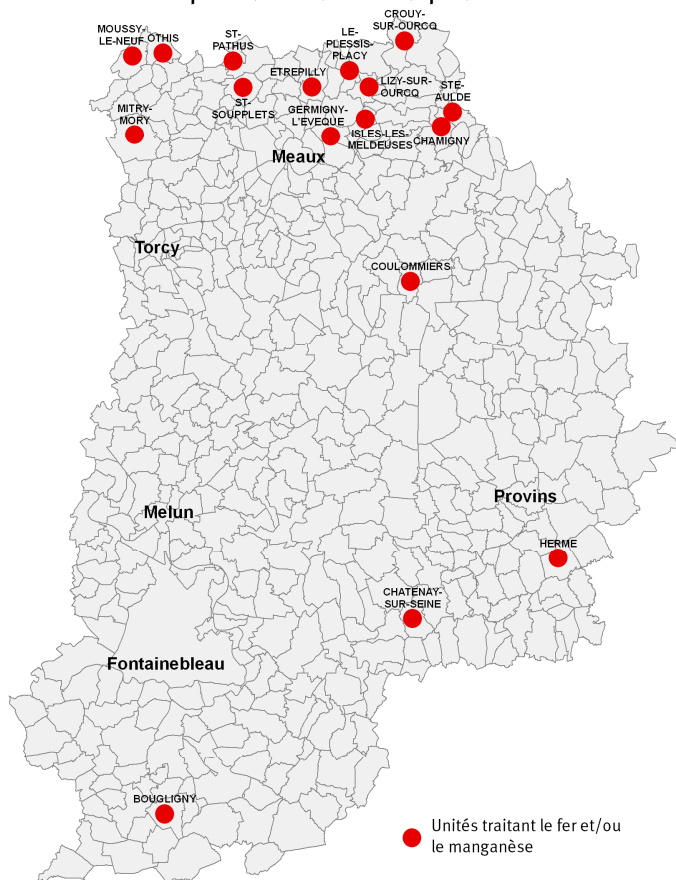
2.C - Comparaison des filières

Comparaison des filières	Physico-chimique	Biologique
Paramètre	Déferri-sation	
Vitesse de filtration (m/h)	5 à 15	20 à 40
Masse de fer retenu (kg/m ²)	0,2 à 1	1 à 5
Complexation du fer	oxydant nécessaire	ne perturbe pas
Aération	saturation O ₂	ménagée
Forte teneur en fer	décantation avant filtration (> 10 mg/L)	filtration seulement (25 - 30 mg/l)
Elimination du manganèse	en parallèle avec oxydant fort	Nécessite un 2 ^{em} étage de filtration
	Démanganisation	
Vitesse de filtration (m/h)	5 à 15	10 à 20
Masse de Mn retenue (kg/m ²)	0,2 à 0,4	1
Aération	insuffisant	50 - 90 % de saturation
Réactif utilisé	oxydant fort	air
Elimination du fer	en parallèle avec oxydant fort	Lors du 1 ^{er} étage de filtration

Source : Etude Agence de l'eau Seine-Normandie / CIRSEE Suez, octobre 2006

3 – Ouvrages en Seine et Marne

Unités de traitement du fer et/ou du manganèse en Seine-et-Marne pour l'alimentation en eau potable



Sources : CG77 - SIG - DEE

Il existe 18 unités de traitement du fer et/ou du manganèse en Seine-et-Marne, dont Germigny-l'Évêque (70 m³/h), Hermé (500 m³/h), Saint-Pierre-lès-Nemours (605 m³/h).

4 - Pour aller plus loin

Le décret 2001-1220 du 20 décembre 2001, relatif aux eaux destinées à la consommation humaine (hors eaux minérales), est consultable sur le site de [Légifrance](http://legifrance.gouv.fr)



Hermé (500 m³/h), Source : Veolia/OTV

Exemple de quelques constructeurs en Seine-et-Marne : OPALIUM, OTV, DEGREMONT, SAUR, STEREAU, MARTEAU...

1. Qu'est ce que la décarbonatation ?

La dureté d'une eau est fonction des quantités de calcium et de magnésium qu'elle contient. Le calcaire, carbonate de calcium, précipite sous forme de tartre sous certaines conditions.

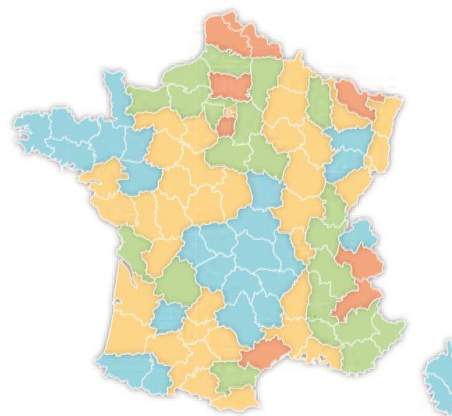
Les ions calcium (Ca_2^+) et magnésium (Mg_2^+) d'une eau déterminent sa dureté.

Le corps humain a besoin d'apports quotidiens en calcium et en magnésium, provenant de l'eau de boisson et des aliments.

En revanche, si l'eau est trop riche en ces éléments, cela peut engendrer de nombreuses perturbations notamment :

- En réduisant les sections de passage de l'eau dans les canalisations,
- En augmentant la rugosité des parois et ainsi provoquer des pertes de charges plus ou moins importantes,
- En obstruant certains appareils type chaudières, machine à laver... et les canalisations
- En créant des supports propices à la prolifération des micro-organismes

Ainsi, certaines eaux, trop riches en ces éléments, doivent subir ce que l'on appelle une décarbonatation. La décarbonatation réduit le risque de formation de calcaire mais on ne supprime pas le calcaire. Elle permet l'obtention d'un compromis entre le bon équilibre minéral de l'eau et le niveau optimum de dureté.



● TH < 15°F = faible
● 15°F < TH < 25°F = moyenne
● 25°F < TH < 35°F = élevée
● TH > 35°F = très élevée

Le titre hydrotimétrique (°TH) est une concentration en sels de calcium et magnésium exprimé en degré. Le degré français correspond à une concentration en carbonate de calcium et magnésium de 10mg/L d'eau. (1°TH = 10 mg/L)

* www.abiolo.com

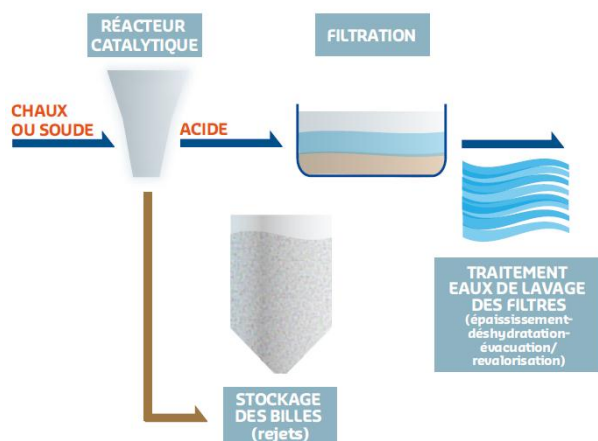
2. Les techniques de décarbonatation

La décarbonatation n'élimine que les ions calcium et magnésium liés aux bicarbonates, il s'agit alors d'un adoucissement partiel. L'adoucissement total d'une eau correspond à l'élimination de l'ensemble des ions calcium et magnésium.

Parmi les procédés de décarbonatation, on trouve :

- la décarbonatation à la chaux ou à la soude ;
- la décarbonatation sur résines échangeuses d'ions ;
- l'électro-décarbonatation.

La décarbonatation à la chaux ou à la soude



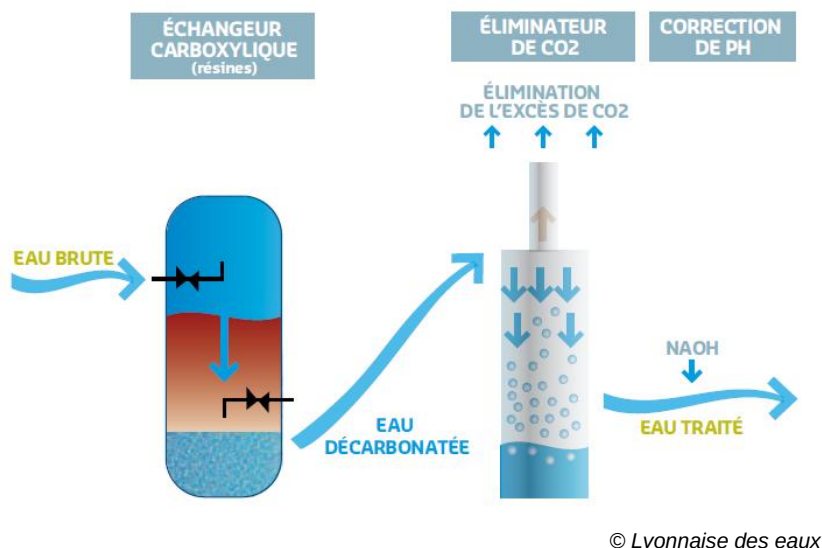
La décarbonatation à la chaux est le procédé de précipitation le plus largement utilisé. Son but est d'éliminer la dureté bicarbonatée liée au calcium et au magnésium, c'est-à-dire la présence dans l'eau d'hydrogénocarbonates et carbonates de Ca et de Mg, en ajoutant soit de la chaux ou soit de la soude à l'eau.

Dès que l'eau et le réactif sont mis en contact, des cristaux se forment. Cette opération est réalisée dans une structure en forme d'entonnoir d'où l'eau épurée déborde par surverse et du fond de laquelle sont extraites les boues de carbonate de calcium. L'eau décarbonatée doit ensuite être filtrée pour garantir la qualité de l'eau produite et remise à pH (ajout d'acide). Ce procédé est destiné aux installations supérieures à 100 m³/h.

Ce procédé s'applique soit en affinage aux eaux de surface préalablement traitées soit sur des eaux souterraines peu turbides. Il est généralement adapté à un fonctionnement en continu et nécessite donc la mise en place de variateurs de vitesse sur les pompes d'alimentation.

La chaux ou la soude sont ajoutés, sous forme de soluté, par pompe doseuse, proportionnellement au débit et au TAC¹ (Titre Alcalimétrique Complet) de l'eau à traiter.

La décarbonatation sur résines échangeuses d'ions



L'utilisation des résines repose sur un échange d'ions entre ceux contenus dans l'eau à traiter et ceux retenus dans la structure macro poreuse de la résine. Les résines d'adoucissement échangent les ions sodium de la résine contre les ions calcium et magnésium de l'eau. Lorsque la résine est saturée, il faut la régénérer à l'aide d'une solution concentrée d'acide (H_2SO_4 généralement, parfois HCl).

Les résines de décarbonatation échangent les ions H^+ de la résine contre les ions Ca^{2+} , Mg^{2+} et Na^+ . Les résines sont régénérées avec un acide fort. Il est à noter que ce procédé n'est utilisé que dans l'industrie et chez les particuliers. Bien que relativement facile à mettre en œuvre, car totalement automatisable, l'utilisation des résines comporte certains inconvénients,

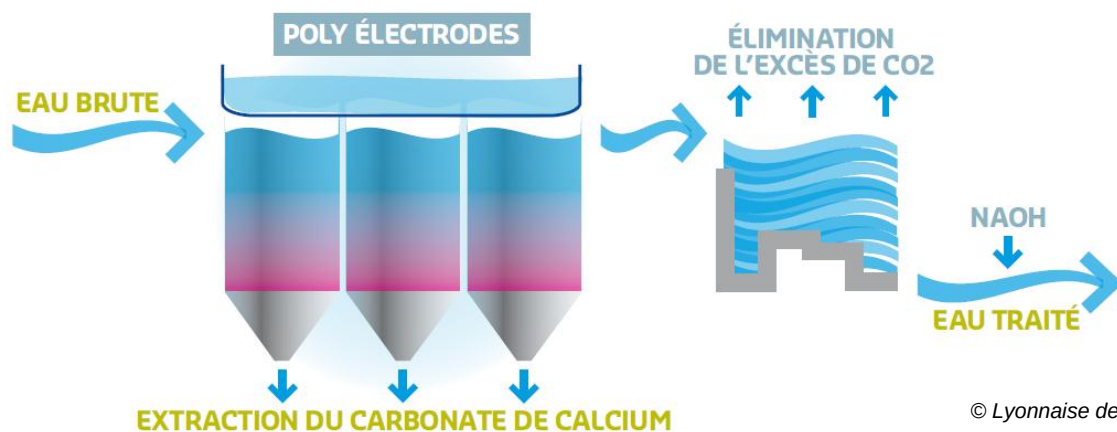
dont notamment :

- la nécessité de traiter une eau exempte de matières organiques, car celles-ci peuvent entraver les échanges ioniques ;
- le risque de précipiter le fer et le manganèse, ce qui conduit à un empoisonnement des résines ;
- le devenir des éluats de régénération qui sont très concentrés.

Les installations équipées de ce procédé sont compactes. Elles fonctionnent automatiquement et sans ajout de réactif hormis pour la phase de régénération. Les arrêts et les variations de débits sont relativement simples à gérer sans entraîner de perturbations du process. Cette solution est idéale pour filtrer l'eau claire sans matière en suspension.

L'électro-décarbonatation

Sous l'effet d'une faible tension électrique, le calcium et les carbonates dissous dans l'eau s'associent pour former du carbonate de calcium sous forme solide (calcaire ou tartre).



¹ Le TAC (titre alcalimétrique complet) est la grandeur utilisée pour mesurer le taux d'hydroxydes, de carbonates et de bicarbonates d'une eau, son unité est le degré français (°F ou °FH). La connaissance de cette valeur est essentielle pour l'étude de l'agressivité d'une eau puisqu'il dépend de l'équilibre calco-carbonique.

L'eau à traiter traverse de haut en bas un champ électrique produit par un ensemble d'électrodes, cathodes et anodes, placées en alternance :

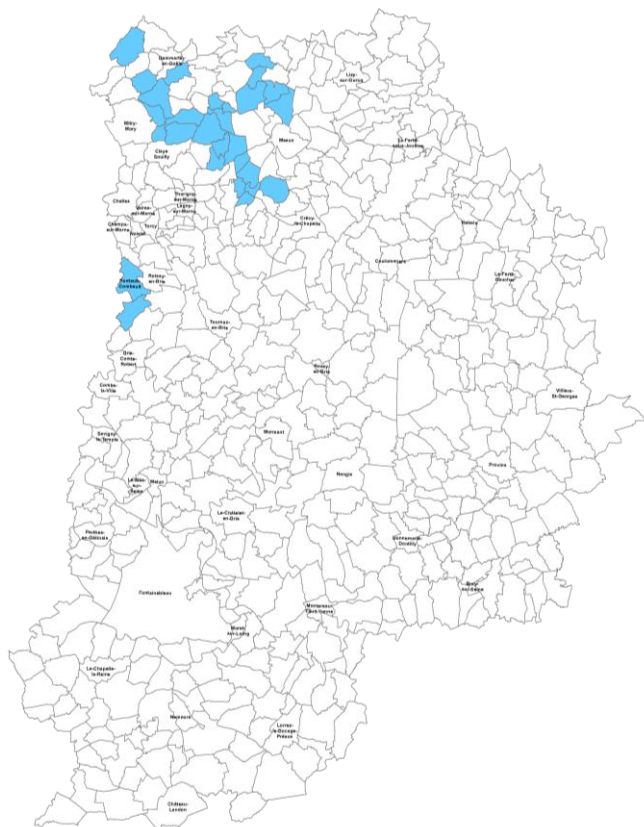
- A la cathode, il y a production d'hydroxydes OH^- provoquant la précipitation du carbonate de calcium.
- A l'anode, il est produit des ions H^+ qui réagissent avec les hydrogène-carbonates pour former du dioxyde de carbone ensuite neutralisé.

Les boues formées sont recueillies au fond du réacteur, d'où elles sont périodiquement extraites. Elles sont déshydratées pour former des cristaux de CaCO_3 pur pouvant être réutilisés.

Ce procédé fonctionne sans l'utilisation de réactif. Les arrêts et les variations de débits sont relativement simples à gérer sans entraîner de perturbations du process. Très intéressant pour le traitement des eaux claires, il doit être précédé d'un traitement en cas de ressources turbides. Ce procédé est plutôt adapté aux installations de 50 à 300 m^3/h et peut potentiellement s'étendre jusqu'à une capacité de 500 m^3/h .

Il faut noter que dans ce procédé, il se produit une acidification de l'eau qui oblige en fin de traitement à un apport de soude pour rééquilibrer le pH.

3. La situation en Seine-et-Marne



En Seine-et-Marne, 4 usines de potabilisation utilisent un procédé de décarbonatation afin de réduire la dureté de l'eau.

Ainsi, les usines de Torcy, Saint-Souplet, Moussy-le-Neuf et Condé-Saint-Libaire possèdent une unité de traitement spécifique du calcium et du magnésium.

Source :

- « Le calcaire vers une solution de décarbonatation collective », Supplément technique du magazine eauservice, Le journal de Lyonnaise des Eaux pour les collectivités locales, Septembre 2008.
- « Les procédés d'adoucissement en traitement de l'eau potable », Memotec n°6, GLS.