
MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Formation des ingénieurs du génie
sanitaire
2005-2006

Contribution à l'évaluation du risque écotoxicologique et toxicologique des résidus de production d'eau potable

Présenté par :

Marie BERTRAND

Ingénieur agronome ENSAR

Lieu de stage : VEOLIA Environnement, Recherche et Développement,
Direction Environnement, Equipe Risques et Impacts Environnementaux, 17-
19 rue La Pérouse 75 116 Paris

Référent Professionnel:

Christelle PAGOTTO

Référent Pédagogique :

René SEUX

Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement ma maîtresse de stage Christelle PAGOTTO pour son encadrement, ses conseils avisés et sa disponibilité tout au long de mon stage.

Emmanuelle AOUSTIN, responsable de l'équipe Risques et Impacts Environnementaux, pour m'avoir accueillie au sein de son équipe.

Et toutes les personnes du groupe Veolia qui ont répondues à mes questions et sans qui je n'aurais pu réaliser ce rapport : Jean-Paul COURSIER, Catherine DAINES, Christian DEMOCRATE, Malik DJAFER, Dominique GATEL, André HEBERT, Yves JAEGER, Jérôme LEPARC, Philippe MARTEIL, Yves MIOLANE, Greg TURNER et François VINCE.

Sommaire

1	Contexte de l'étude	1
1.1	Objectifs et enjeux	1
1.1.1	Cadre réglementaire sur les rejets dans le milieu naturel	2
2	Les différentes filières d'eau potable et leurs rejets	3
2.1	Les eaux brutes et impuretés à éliminer	4
2.2	Procédés de traitement de l'eau potable et rejets générés	5
2.2.1	La clarification	5
2.2.2	Filtration	5
2.2.3	Désinfection	5
A)	La désinfection chimique	5
B)	La désinfection physique : les techniques membranaires	6
2.2.4	La décarbonatation	8
2.2.5	Les résines échangeuses d'ions	8
2.2.6	Les traitements biologiques	8
2.2.7	La distillation thermique	8
2.3	Les produits et sous produits de la potabilisation	9
2.3.1	Les produits et sous produits de la coagulation	10
2.3.2	Les produits et sous produits de la désinfection chimique	10
2.3.3	Les produits et sous produits de nanofiltration	11
2.3.4	Les produits et sous produits d'osmose inverse	13
2.4	La qualité des rejets et les modes de gestion	13
2.4.1	Les terres de décantation	13
2.4.2	CAG et CAP	13
2.4.3	Eau de lavage des filtres	14
2.4.4	Les eaux résiduelles de microfiltration	14
A)	Qualité	14
B)	Gestion	14
2.4.5	Les eaux résiduelles d'ultrafiltration	14
2.4.6	Les rejets de nanofiltration	15
A)	Qualité	15
a)	Concentrât	15
b)	Les eaux de nettoyage chimique neutralisée	16
B)	Mode de gestion	16

C)	Impact des concentrâts sur l'environnement	17
2.4.7	Les eaux résiduares d'osmose inverse	17
A)	Qualité	17
a)	Le concentrât	17
b)	Les eaux de lavage des membranes	17
B)	Mode de gestion	18
C)	Etude d'impact	18
3	Etat des lieux Veolia eau	21
3.1	Cartographie des filières de potabilisation et des rejets : données disponibles.....	21
3.1.1	Représentativité des différentes filières de potabilisation de l'eau et quantité d'eau potable produite.....	21
3.1.2	Représentativité des différentes filières de potabilisation de l'eau et gestion des rejets.....	23
3.2	Cartographie des filières de production d'eau potable et des rejets : mise en place de l'enquête interne	25
4	Les méthodes d'évaluation de l'impact des rejets sur le milieu naturel	26
4.1	L'approche chimique, microbiologique et écotoxicologique.....	26
4.2	Interprétation des bioessais.....	30
4.3	Evaluation de l'impact du rejet d'une substance toxique dans le milieu naturel.....	30
5	Campagne d'analyses et d'essais	31
5.1	Analyses physico chimique	32
5.2	Analyses microbiologique.....	32
5.3	Analyses biologiques.....	33
5.3.1	Choix des tests	33
5.3.2	Choix du prestataire	35
5.3.3	Conditions de prélèvement et conservation des échantillons.....	35
5.4	Choix des usines et présentation	35
5.4.1	L'usine de Clay Lane : ultrafiltration	36
5.4.2	L'usine de Méry-sur-Oise : nanofiltration.....	36
5.4.3	Osiose Inverse	37
A)	Usine de Gibraltar.....	37
B)	L'usine d'Ashkelon.....	38
5.5	Avancement de la campagne	38

6 Conclusion et perspectives	38
Bibliographie : Littérature.....	41
Bibliographie : Sites internet.....	44
Liste des annexes	45
Annexes	46

Liste des sigles utilisés

AFNOR : Association Française de NORmalisation
AwwaRF : Awwa Research Foundation (Foundation de recherche Awwa)
CAE : Centre d'Analyses Environnementales
CAG : Charbon Actif en Grains
CAP : Charbon actif en Poudre
CE : Concentration Efficace
CEN : Comité Européen de Normalisation
CI : Concentration Inhibitrice
CL : Concentration Létale
COFRAC : COmité FRançais d'Accréditation
COT : Carbone Organique Total
CODB : Carbone Organique Dissous Biodégradable
DBO : Demande Biologique en Oxygène
DCE : Directive Cadre sur l'Eau
DCO : Demande Chimique en Oxygène
EPA : Environmental Protection Agency (Agence de protection de l'environnement)
HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
IBGN : Indice Biologique Global Normalisé
ICPE : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des RISques
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
ISO : International Standard Organisation (Organisation Internationale de Normalisation)
LOEC : Lowest Observed Effect Concentration (Concentration avec le plus faible effet observable)
MES : Matières En Suspension
MS : Matière Sèche
NF : Norme Française
NOEC : Non Observed Effect Concentration (Concentration sans effet observé)
OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economique
PCB : Polychlorobiphényles
PEC : Predictive Environmental Concentration (Concentration prévisible dans l'environnement)
PNEC : Predicted Non Effect Concentration (Concentration sans effets prévisibles)
SEDIF : Syndicat des Eaux d'Ile-De-France
THM : TriHaloMéthanes
TOX : Organo halogénés Totaux
USEPA : United States Environmental Protection Agency (Agence de protection de l'environnement des Etats-Unis)

1 Contexte de l'étude

1.1 Objectifs et enjeux

Les filières de production d'eau potable génèrent différents rejets liquides souvent évacués dans le milieu naturel. Ainsi, les substances chimiques qui peuvent être présentes dans ces rejets se retrouvent dispersées dans l'environnement et représentent potentiellement un risque pour les organismes vivants et la santé humaine. Cependant, dans le cadre de la protection de l'environnement et plus particulièrement dans le contexte de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), il importe de bien maîtriser la qualité et la quantité des rejets afin d'atteindre « le bon état écologique et chimique des eaux ». Une évaluation des impacts toxicologiques et écotoxicologiques de ces rejets sur le milieu naturel est alors nécessaire pour caractériser les dangers potentiels de ces rejets sur l'environnement.

L'objectif de cette étude est ainsi de contribuer à l'évaluation de l'impact toxicologique et écotoxicologique des rejets d'usines de production d'eau potable. Pour cela deux étapes ont été menées :

Une première étape, vise à identifier les différents rejets liquides effectués par les usines d'eau potable en fonction de la filière de traitement et du mode de gestion de ces rejets. Le but de cette étape est d'identifier qualitativement et quantitativement les rejets liquides d'usine d'eau potable afin d'évaluer l'intérêt d'effectuer une étude d'impact écotoxicologique sur ces rejets, si ceux-ci sont rejetés dans le milieu naturel. Il est alors nécessaire de :

- Identifier les éléments présents dans l'eau et qui se retrouvent concentrés dans les rejets,
- Identifier les différentes unités au sein de la filière d'eau potable pouvant générer des rejets,
- Connaître les produits et sous produits susceptibles de poser problème et d'être présents dans le rejet effectué dans le milieu naturel en fonction de la filière et du rejet,
- Caractériser le mode de gestion de ces rejets et connaître leur devenir,
- Mettre en place une enquête au sein du groupe afin de caractériser précisément ces rejets.

Une deuxième étape vise à caractériser en priorité les rejets des filières de traitement de l'eau utilisant les techniques membranaires (microfiltration, ultrafiltration, osmose inverse, nanofiltration), en effet leur développement étant récent, l'impact de leurs rejets sur le milieu naturel est encore mal maîtrisé. Il s'agit de:

- Identifier les différents rejets liés à ces techniques,
- Caractériser les produits et les sous produits pouvant avoir un impact toxicologique,
- Identifier les différentes pratiques liées à la gestion de ces rejets,
- Choisir des tests d'écotoxicité et des analyses physico chimiques adaptés à l'analyse de ces rejets, en effet, la maîtrise du « bon état écologique et chimique des eaux » nécessite l'utilisation de deux outils complémentaires: les analyses physico chimique et les tests d'écotoxicité qui sont intégrés dans les procédures d'évaluation de risque et dont l'utilisation est de plus en plus courante,
- Identifier des méthodes d'interprétation des tests,
- Choisir des laboratoires partenaires de l'étude pour les analyses physico chimique et écotoxicologiques,

- Identifier des sites d'étude selon les procédés mis en œuvre et l'accessibilité des échantillons.
- Organiser la campagne d'analyse en suivant le bon déroulement des prélèvements et en coordonnant les relations entre les différents acteurs : l'usine d'eau potable, le laboratoire d'analyse physico chimique, le laboratoire d'analyse écotoxicologique et les transporteurs.

Les résultats obtenus à la suite de cette campagne sur les rejets issus des techniques membranaires permettront de caractériser l'impact potentiel des rejets à partir d'essais réalisés en laboratoire, ils seront complétés par des analyses en milieu réel si une toxicité des rejets a été mise en évidence. De plus, des campagnes d'analyses semblables pourront être mise en place pour l'étude de rejets issus de processus différents et pouvant avoir un impact sur l'environnement.

1.1.1 Cadre réglementaire sur les rejets dans le milieu naturel

Il n'existe pas de réglementation spécifique en ce qui concerne les rejets liquides dans le milieu naturel mais plusieurs textes relatifs à la protection de l'environnement et à la santé publique s'appliquent. En effet, les eaux rejetées au milieu naturel ne doivent pas être de nature à porter atteinte à la santé publique et ne doivent pas compromettre l'équilibre biologique du milieu.

Les textes (tableau 1) relatifs à la santé publique concernent des seuils à respecter dans le milieu naturel et visent à poser un objectif de qualité du milieu aquatique qui permette des usages particuliers de l'eau de ce milieu tels que la baignade ou l'utilisation de l'eau afin de la rendre potable.

Les textes (tableau 1) relatifs à l'environnement visent la réduction des rejets dans les milieux aquatiques et imposent des seuils à respecter au sein même du rejet (ICPE et loi sur l'eau) et visent également la protection du milieu récepteur en imposant des seuils à respecter dans le milieu naturel(DCE).

La DCE constitue un réexamen approfondi de la politique communautaire de l'eau qui compte environ 30 directives. Elle a pour objectif principal d'établir un cadre pour la protection des eaux intérieures, de transitions, côtières et souterraines afin d'atteindre un bon état écologique et chimique en 2015. Ceci s'applique à l'échelle du district hydrographique.

En matière de définition et d'évaluation de l'état des eaux, la DCE considère deux notions:

- **l'état chimique**, destiné à vérifier le respect des normes de qualité environnementales fixées par des directives européennes. Les paramètres concernés sont les substances dangereuses (8) et les substances prioritaires (33) (Annexe 4). Il s'agit de supprimer les rejets de substances dangereuses prioritaires et réduire ceux des substances prioritaires.

- **l'état écologique** se décline en cinq classes d'état : très bon à mauvais (très bon ; bon ; moyen ; médiocre ; mauvais). L'évaluation se fait, principalement, sur la base de paramètres biologiques tel l'IBGN (Indice Biologique Global Normalisé) et par des paramètres physico-chimiques sous-tendant la biologie.

Le bon état d'une eau de surface est atteint lorsque son état écologique et son état chimique sont au moins bons (article 2-18 de la DCE) (Annexe 2).

Les principaux textes applicables sont recensés ci-dessous (Tableau 1):

Cadre réglementaire européen	Santé publique	<ul style="list-style-type: none"> • La directive 2006/7/CE du 15 février 2006 concernant la gestion de la qualité des eaux de baignade (Annexe 1) • La directive 75/440/CE du 16 juin 1975 sur la qualité requise des eaux superficielles destinées à la production d'eau potable (Annexe 2).
	Environnement	<ul style="list-style-type: none"> • La directive cadre sur l'eau (DCE) du 23 octobre 2000 mise en application en France via la circulaire DCE 2005/12 (Annexe 2).
Cadre réglementaire français	Santé publique	<ul style="list-style-type: none"> • Les décrets 2003-462 et 2003-4610 du 21 mai 2003 fixent les limites de qualité des eaux douces superficielles utilisées ou destinées à être utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine (Annexe 5). • Le règlement sanitaire départemental peut également définir des spécifications.
	Environnement	<ul style="list-style-type: none"> • La gestion environnementale des installations industrielles : Loi sur les ICPE du 19 juillet 1976. La législation des ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement) est applicable aux installations qui peuvent présenter des risques, des dangers ou des inconvénients soit pour la santé, la sécurité soit pour la protection de l'environnement. • La protection de la ressource en eau : loi sur l'eau de 1992. L'article 10 de la loi n°92-3 sur l'eau du 3 janvier 1992 définit une nomenclature des opérations soumises au régime de la déclaration ou de l'autorisation des rejets dans les eaux superficielles. <ul style="list-style-type: none"> - Le décret 93-743 du 29 mars 1993 distingue les procédures applicables en fonction du volume des rejets (seuil de 10 000 m³/j ou 25 % du débit du cours d'eau) et du flux de pollution. - L'arrêté 60 du 2 février 1998 relatif aux émissions de toute nature des ICPE, soumises à autorisation. Il fixe les seuils pour les rejets dans un cours d'eau, dans un lac ou en mer (Annexe 3). - L'arrêté du 23 février 2001 fixant les prescriptions générales applicables aux rejets soumis à déclaration.

Tableau 1: Lois en vigueur relatives aux rejets d'usines d'eau potables dans l'environnement

Les autorisations de rejet d'eau résiduaires provenant des usines d'eau potable sont traitées en fonction du contexte au titre de la loi sur l'eau. Des études d'impact doivent être conduites pour s'assurer de l'innocuité des produits rejetés, vis-à-vis du milieu récepteur et une déclaration ou une autorisation préfectorale spéciale doit être effectuée.

Les seuils présents dans ces différentes lois et présentés en annexe 1, 2, 3,4 et 5 seront utilisés à titre comparatif dans l'évaluation de l'impact toxicologique et écotoxicologique des rejets d'usine d'eau potable

2 Les différentes filières d'eau potable et leurs rejets

Les rejets pouvant avoir un impact sur le milieu naturel sont ceux dont les éléments sont en concentration suffisante pour être toxique ou ceux dont les teneurs dépassent celles du milieu récepteur et entraînent un déséquilibre de celui-ci. Ces informations ne peuvent être

obtenues qu'au cas par cas et dépendent de l'eau brute, du traitement effectué, des interactions entre les substances chimiques et du milieu récepteur. Ainsi afin de caractériser d'une manière globale les rejets des usines d'eau potable et pour connaître les plus pertinents à étudier, nous identifierons tout d'abord les différentes impuretés présentes dans l'eau brute, puis les rejets générés par les usines d'eau potable en fonction du procédé de traitement utilisé, et les produits et sous produits présents et finalement le mode de gestion des différents rejets.

2.1 Les eaux brutes et impuretés à éliminer

Il existe différents types d'impuretés à éliminer afin de rendre l'eau potable :

- Impuretés biologiques :
 - o Bactéries et virus : Ces microorganismes peuvent être potentiellement pathogènes pour l'homme. De plus, le développement de germes banals peut créer de graves problèmes dans le réseau de distribution : consommation de chlore et de l'oxygène dissous, corrosion et apparition de mauvais goût.
 - o Micro-organismes divers : ils forment une biomasse qui doit être éliminée, de plus certains d'entre eux sécrètent des composés donnant à l'eau un goût et ou une odeur désagréable. Enfin les protozoaires parasites comme *Giardia* et *Cryptosporidium* peuvent provoquer en particulier des épidémies de gastro-entérites.
- Impuretés minérales :
 - o Impuretés sans effets appréciables sur la santé
 - Turbidité et couleur sont les premiers paramètres directement perçus par le consommateur. Ils peuvent être dus à la présence de certaines impuretés.
 - La minéralisation : elle doit être faible car on cherche à distribuer une eau à l'équilibre calcocarbonique pour éviter l'entartrage ou la corrosion des réseaux.
 - Certains métaux comme le fer, le manganèse, le cuivre, le zinc et l'aluminium peuvent affecter les qualités organoleptiques de l'eau, la colorer ou être à l'origine de dépôts dans le réseau.
 - L'ammonium doit être éliminé car il interfère avec la chloration (formation de chloramines).
 - o Impuretés affectant la santé
 - Les nitrates doivent être éliminés si leur concentration est supérieure à 50 mg/l car ils sont alors à l'origine de méthémoglobinémie chez les nourrissons voir de cancer.
 - Les métaux lourds : le cadmium, le plomb, le chrome, le cuivre, le nickel, le mercure peuvent engendrer des problèmes de santé et doivent être retiré de l'eau.
 - Le fluor peut entraîner la fluorose des os.
 - L'antimoine peut influencer la composition du sang,
 - L'arsenic est à l'origine de cancers cutanés
 - Le baryum peut provoquer des problèmes cardiovasculaires
 - Le sélénium est toxique pour l'homme
- Impuretés organiques
 - o Micropolluants organiques « artificiels » : pesticides, phytosanitaires, solvants chlorés, phénols, hydrocarbures, Hydrocarbures polycycliques aromatiques (HPA), Polychlorobiphényles (PCB), détergents, ils doivent être éliminés car ils sont dangereux pour la santé.
 - o Matières organiques naturelles : elles sont inoffensives pour la santé mais doivent être éliminées car elles interfèrent sur tous les procédés de traitement

d'eaux potables et constituent en particulier un réservoir de précurseurs de sous produits d'oxydation indésirables.

[Degrémont Suez., 2005]

Tous ces éléments doivent être éliminés de l'eau brute afin de la rendre potable et sont donc retrouvés concentrés dans les rejets d'usine d'eau potable.

2.2 Procédés de traitement de l'eau potable et rejets générés

Ainsi que le montre les études de Vince., 2006 et Maret et al., 2002, en fonction de l'eau à traiter, les filières de potabilisation utilisent des procédés différents qui génèrent des rejets variés. Afin d'évaluer l'impact potentiel de ces rejets sur le milieu naturel, il est tout d'abord nécessaire de les identifier. Les étapes principales du traitement de l'eau sont ainsi analysées afin de déterminer les rejets produits.

2.2.1 La clarification

La clarification permet l'élimination des matières en suspension (MES) et des colloïdes. Elle se décompose en trois opérations successives : la coagulation, la floculation et la décantation.

Cette étape génère des **terres de décantation** communément appelées boues.

2.2.2 Filtration

La filtration est une opération de séparation solide-liquide plus fine que la clarification. Elle contribue à éliminer la turbidité, le fer, l'aluminium et le manganèse (particulaire) ainsi que la couleur, les MES et la matière organique (MO). Les matériaux filtrants utilisés sont : le sable, l'antracite et le charbon actif en grain (CAG).

A la fin du cycle de filtration ou en cas de colmatage du filtre, le filtre subit une séquence de lavage à l'eau et à l'air générant ainsi des **eaux de lavage des filtres** composées de particules organiques et inorganiques. En cas de redémarrage après un arrêt prolongé, un lavage supplémentaire appelé **nettoyage chimique** est effectué à l'eau de javel.

Les filtres à charbon actif doivent être régulièrement régénérés de manière à libérer les sites d'adsorption occupés par des micropolluants, des métaux ou de la matière organique. Au-delà d'un certain seuil de saturation ou d'un certain nombre de régénérations, le **CAG** n'est plus régénérable, il est alors incinéré, recyclé ou envoyé en décharge.

Le **CAP**, introduit en tête de filière avant la clarification se retrouve, dans les purges de décanteurs et dans les eaux de lavage des filtres. Il peut être chargé en polluants tels que les **hydrocarbures** qu'il a absorbés au cours du traitement.

2.2.3 Désinfection

A) La désinfection chimique

Le but de la désinfection est de distribuer une eau exempte de micro-organismes pathogènes (bactéries, virus et parasites) ne présentant pas de risque de santé publique. La désinfection chimique des eaux destinées à la consommation repose sur l'utilisation des propriétés oxydantes de divers réactifs tels que le chlore et l'ozone. La désinfection chimique ne produit **pas de rejets** lors de sa mise en œuvre et ne nécessite pas de lavage mais peut générer des sous produits de désinfection susceptibles de se retrouver dans les rejets en aval. Toutefois, les concentrations en sous-produits de désinfection resteront très faibles.

Après désinfection totale, il est nécessaire de neutraliser le résiduel de désinfectant pour ne pas dépasser les seuils tolérés par la réglementation. Cette étape ne génère pas d'eaux résiduaires.

B) La désinfection physique : les techniques membranaires

Les procédés membranaires permettent d'éliminer en une seule étape une large gamme de polluants. Il existe 4 procédés membranaires à gradient de pression qui se distinguent par la taille et le type des espèces qu'ils peuvent séparer : la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nanofiltration (NF) et l'osmose inverse (OI) (figure 1).

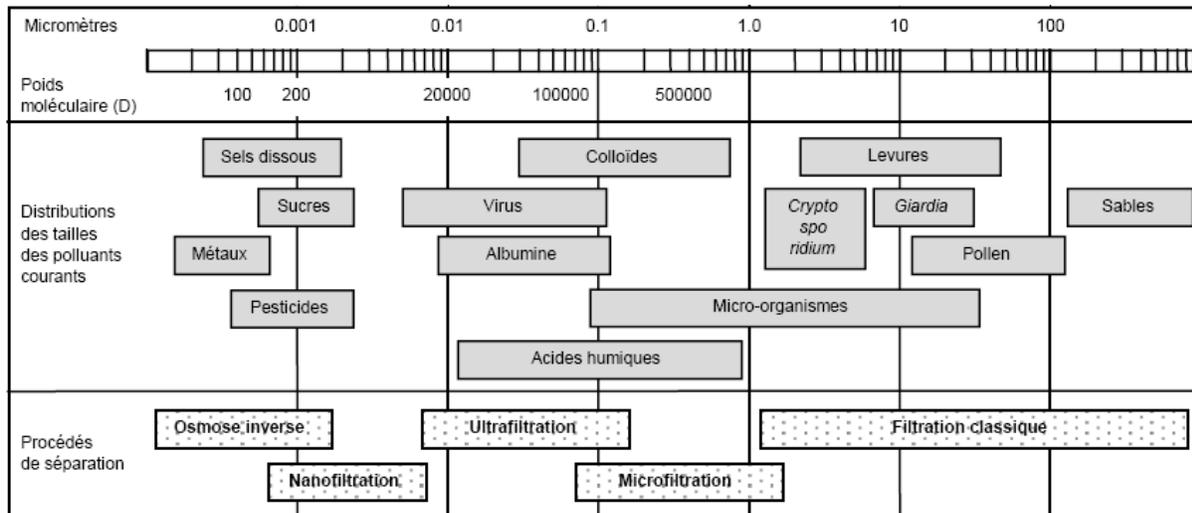


Figure 1: Domaines de séparation des techniques membranaires

La microfiltration ne retient que des particules de petite taille, incluant les microorganismes pathogènes (*Giardia* et *Cryptosporidium*) ou non.

L'ultrafiltration (figure 2) permet de retenir toutes particules dont la taille est supérieure à celles des pores de la membrane (particules de 0.005 à 0.1 μm). Ce procédé assure l'élimination des matières en suspension et la désinfection totale de l'eau tout en s'affranchissant de l'emploi de réactifs tel que l'ozone, le chlore ou ses dérivés.



Figure 2: Unité d'Ultrafiltration à Clay Lane (Angleterre)



La nanofiltration (figure 3) retient les ions divalents et remplace les étapes d'ozonation et de filtration CAG (Charbon Actif en Grain). On parle de nanofiltration pour des membranes qui ont un seuil de coupure en masse molaire proche de 200 daltons.

Figure 3: Filière de NF de l'usine de Méry-sur-Oise (95)

L'osmose inverse présente un seuil de coupure très bas et ne laisse passer que le solvant. Elle concentre des solutés dont les molécules sont comprises entre 3 et 20 angströms. C'est la technique la plus utilisée pour dessaler l'eau de mer, on utilise également la distillation et moins fréquemment la nanofiltration, l'électrodialyse, les systèmes d'échanges ioniques, et la décarbonatation.

On distingue deux types de filtration (figure 4) :

- La filtration tangentielle consiste à faire circuler le liquide chargé, sous pression, parallèlement à la surface filtrante. Cette méthode est utilisée en osmose inverse et en nanofiltration, elle engendre un rejet important : le **concentrât**.
- La filtration frontale s'effectue perpendiculairement au plan de la membrane, elle est mise en œuvre en microfiltration et en ultrafiltration et entraîne la formation d'un **gâteau de filtration**, cycliquement éliminé par rétrolavage.

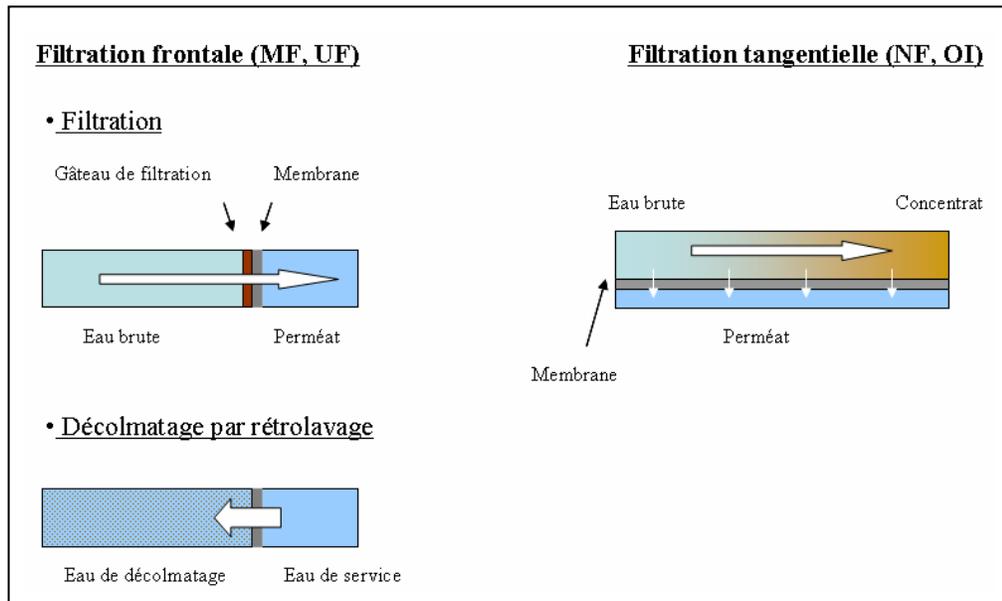


Figure 4 : Modes de filtration membranaires et rejets associés

On distingue trois types d'eaux résiduelles issues des procédés membranaires :

- Les **eaux de décolmatage**, ou **eaux de rétrolavage** (représentant entre 1 à 20 % du volume d'entrée), rejet discontinu en cas de filtration frontale (microfiltration et ultrafiltration).
- Les **eaux de nettoyage chimique** ou **eaux de régénération**, rejet discontinu dépendant de la fréquence de régénération des membranes (fréquence au minimum 20 fois plus faible que celle des lavages pour un rejet représentant moins d'1% du volume d'entrée). La régénération (nettoyage chimique) intervient quand le décolmatage n'est plus suffisant.
- Le **concentrât**, rejet continu produit par la filtration tangentielle utilisée sur les membranes d'ultrafiltration, de nanofiltration et d'osmose inverse (entre 20 et 50 % du volume d'entrée)

Dans les procédés d'osmose inverse et de nanofiltration, la membrane sépare l'eau brute en deux parties :

- Le perméat qui comprend l'eau purifiée
- Le concentrât composé de l'eau concentrée en éléments indésirables

Pour les espèces complètement rejetées par la membrane, on définit un facteur de concentration FC et un taux de conversion R :

$$FC = \frac{1}{1 - RC}$$

Le taux de conversion ou taux de récupération d'une installation de nanofiltration ou d'osmose inverse est d'environ 85% et le facteur de concentration est de 6.67. Plus le taux de conversion est élevé, plus la quantité d'eau traitée est importante mais plus les ions sont concentrés dans le concentrât.

2.2.4 La décarbonatation

La décarbonatation à la chaux et à la soude se fait par décantation et engendre des **boues de décarbonatation**. L'eau de chaux est utilisée en fin de filière de traitement pour amener une eau agressive à l'équilibre et est produite au sein d'un saturateur de chaux. Le saturateur permet d'obtenir une solution saturée en chaux (eau de chaux), à partir de lait de chaux en assurant la mise en solution de la chaux et l'élimination des impuretés et des boues de carbonates. Les boues sont issues des **purges des saturateurs**. Les MES récupérées représentent environ 15% de la masse de chaux éteinte utilisée.

Les boues de décarbonatation physico chimique classique sont principalement constituées de **carbonate de calcium** et de **carbonate de sodium**.

La décarbonatation catalytique est réalisée avec un ajout de microsable en plus, les boues alors obtenues contiennent en plus des billes de carbonates faciles à stocker que l'on envoie en décharge ou que l'on destine à l'épandage.

2.2.5 Les résines échangeuses d'ions

Les résines échangeuses d'ions peuvent participer à la dénitrification par élimination physico-chimique des nitrates et à la décarbonatation en éliminant totalement ou partiellement les sels de calcium et de magnésium.

Une étape de régénération est réalisée lorsque la résine échangeuse d'ions est saturée et crée des eaux de régénération des résines appelées **éluats**. La régénération des résines de dénitrification et de décarbonatation s'effectue par lavage avec une solution de saumure NaCl à 50 g/l et celle des résines de type carboxylique avec un acide fort (H_2SO_4 généralement). Les eaux de régénération des résines contiennent les **sulfates** et les **nitrates** de l'eau brute avant traitement, une partie des **ions bicarbonates** et les **chlorures** du régénérant et des cations métalliques (calcium, magnésium et sodium associé aux bicarbonates de l'eau brute).

Un **nettoyage chimique** exceptionnel à la soude et à l'acide chlorhydrique peut également être pratiqué pour récupérer une partie des sites actifs de la résine.

2.2.6 Les traitements biologiques

Les traitements biologiques ne nécessitent aucun réactif et sont basés sur l'utilisation de bactéries capables d'oxyder ou de réduire biologiquement le fer, le manganèse, les nitrates et l'ammonium. Les boues organiques résultant de ces traitements sont les **eaux de lavage des filtres** sur laquelle la biomasse se développe.

Les boues organiques contiennent essentiellement de la biomasse (**sable, pouzzolane, charbon, anthracite...**) et des **résidus bactériens organiques**

2.2.7 La distillation thermique

L'objectif de la distillation est d'extraire les sels dissous dans l'eau pour rendre celle-ci propre à la consommation. La saumure non évaporée, également appelée **concentrât**, est rejetée au milieu naturel.

Ces différents procédés sont utilisés dans le traitement de l'eau en fonction de la qualité de l'eau à traiter, en effet, la qualité de l'eau brute n'est pas la même en fonction de son origine et les rejets générés sont alors différents.

Les eaux souterraines sont généralement considérées comme de bonne qualité (faible teneur en matières organiques et en matières en suspensions) et sont traitées facilement (simple filtration-désinfection). Néanmoins, parfois ces eaux nécessitent un traitement supplémentaire, c'est le cas des eaux karstiques et alluviales dont la qualité est influencée par les eaux de surface, aussi la composition du terrain de stockage de ces eaux peut jouer sur leur qualité particulièrement pour les teneurs en fer (Fe), magnésium (Mn), ammonium (NH₄) et sulfure d'hydrogène (H₂S) et entraîner un dépassement des normes de potabilité.

Les eaux de surface sont rarement potables sans aucun traitement et sont toujours plus ou moins polluées par divers rejets (urbains, industriels, agricoles,...) Elles contiennent des matières en suspension, de la matière organique et du plancton nécessitant au minimum une étape de clarification. Le traitement associé varie ensuite en fonction des autres particularités de l'eau de surface telle la présence de microorganismes, micropolluants et pesticides.

Enfin l'eau saumâtre et l'eau de mer réclament une filière de traitement avancée (prétraitement composé d'une clarification et d'une filtration puis mise en œuvre de procédés membranaires). En dehors du fait d'être particulièrement chargées en sels (au moins 10000mg/l pour l'eau de mer et de 1000 à 10 000 mg par litre pour les eaux saumâtres) elles sont composées de zooplancton et phytoplancton qui représentent l'essentiel des MES, de matières organiques dissoutes tels les acides humiques non biodégradables et de polluants comme les hydrocarbures et l'azote organique... [Degrémont Suez., 2005]

Les principaux rejets générés par les différents procédés de production d'eau potable ainsi que les quantités de rejets sont récapitulés dans le tableau 2.

Traitement	Rejet	Ratio/Eau brute
<u>Clarification</u>	Terre de décantation	2 à 10 %
<u>Traitement des terres de décantation</u>	Eau de surverse	<< 1%
<u>Filtration</u>	Eau de lavage des filtres	1 à 4 %
	Eau de nettoyage chimique	<< 0,1%
<u>Techniques membranaires</u>	Eau de rétrolavage	1 à 20%
	Eau de nettoyage chimique	<< 0,1%
	Concentrât	20 à 50%
<u>Résines échangeuses d'ions</u>	Eluat	<< 1%
	Eau de nettoyage chimique	<< 0,1%
<u>Décarbonatation</u>	Boues de décarbonatation	<< 0,1%
	Purges des saturateurs à chaux	<< 0,1%
<u>Traitement biologique</u>	Eau de lavage des filtres	<< 0,1%
<u>Distillation thermique</u>	Concentrât	20 à 50%

Tableau 2: Eaux résiduelles engendrées par la production d'eau potable

2.3 Les produits et sous produits de la potabilisation

Les rejets des usines d'eau potable sont constitués non seulement des éléments présents dans l'eau mais aussi des produits ajoutés pour le traitement de l'eau et de leur sous produits générés lors de la production d'eau potable. Afin de les identifier, il est nécessaire de :

- Recenser les produits utilisés pour le traitement de l'eau potable et les sous produits qu'ils génèrent.
- Regrouper les données toxicologiques et écotoxicologiques existantes sur les produits et sous produits.

- Identifier le devenir des produits les plus problématiques dans la filière de production d'eau potable.

Les matériaux au contact de l'eau, utilisés dans les systèmes de potabilisation de l'eau ne seront pas abordés dans ce rapport, ils sont soumis à une autorisation du ministre chargé de la santé, donnée après avis de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA) et présentent donc à priori aucuns dangers pour l'environnement et la santé publique.

Les produits utilisés pour le traitement de l'eau potable sont très nombreux et recensés dans l'Annexe 6. Il est difficile de connaître le devenir de chacun dans les différentes filières d'eau potable et dans le milieu naturel. Cependant des données (quand elles sont disponibles) sur le devenir de ces produits dans l'eau et leur écotoxicologie sont regroupées en Annexe 7, pour les produits les plus fréquemment utilisés; et en Annexe 8, pour les produits utilisés pour les techniques membranaires.

Les sous produits les plus fréquemment rencontrés et pouvant avoir un impact éventuel sur le milieu naturel ont été identifiés [Maret A et al., 2002] et ceux pour lesquels des données d'écotoxicité aquatiques sont disponibles sont présentés en Annexe 9.

Les données bibliographiques concernant les sous produits des filières de production d'eau potable et leur écotoxicité sont peu nombreuses et les principales conclusions de cette analyse sont reportées ci-dessous.

2.3.1 Les produits et sous produits de la coagulation

Les coagulants les plus utilisés dans le traitement des eaux sont des sels métalliques trivalents de fer ou d'aluminium :

- le **chlorure ferrique** (FeCl₃)
- les **sels d'aluminium polymérisés**

Ces coagulants rapidement dégradés ne sont à priori pas toxiques tel quel dans le rejet, en effet par exemple, le coagulant WAC HB composé de sels d'aluminium est ajouté à un taux de 5 à 150 mg/l en moyenne et la CE 50 pour les *Daphnia magna* est supérieure à 100 mg/l (Annexe 7).

Les **ions métalliques** (fer et aluminium) provenant de ces coagulants sont retrouvés en grande partie dans les terres de décantation mais sont toutefois des sous produits à surveiller dans les rejets.

2.3.2 Les produits et sous produits de la désinfection chimique

Les produits les plus utilisés pour la désinfection chimiques sont les composés chlorés (**chlore gazeux, hypochlorites de sodium et calcium**), le **dioxyde de chlore** et l'**ozone**.

Oxydant	Chlore	Eau de javel	Dioxyde de chlore	Ozone
Sous produit	Produits organo halogénés totaux (TOX), dont les acides chloroacétiques et les trihalométhanes (THM)	Chlorates (ClO ₃ ⁻), Bromates.	Chlorites, Chlorates, Chlorures.	Formaldéhyde, acétaldéhyde, glyoxal, bromates.

Tableau 3: Sous produits de la désinfection chimique

NB: Les THM comprennent le bromodichlorométhane, le dibromochlorométhane, le bromoforme, le dichloriodométhane, le bromiodochlorométhane et le chloroforme.

Certains de ces sous produits sont toxiques. Par exemple, on trouve une CE 50 de 42 à 82 mg/l chez *Daphnia magna* pour l'acétaldéhyde, une CE 50 de 18 à 103 mg/l chez le poisson

pour le chloroforme et une CE 50 de 86 mg/l chez le poisson pour le glyoxal (Annexe 9). Cependant ces CE 50 sont largement supérieures aux taux de traitement appliqués dans les filières d'eau potable, le chlore est ajouté à un taux de 0.2 mg/l et l'ozone à un taux de 0.4 à 2 mg/l en moyenne. De plus ils sont neutralisés et la désinfection chimique ne génère pas de rejets, ils sont alors présents seulement à l'état de trace dans les rejets effectués en aval. Ils présentent donc de faibles dangers de pollution dans l'environnement et peuvent seulement être trouvés à l'état de trace.

2.3.3 Les produits et sous produits de nanofiltration

Le concentrât contient les produits ajoutés lors du pré-traitement : **acides** et/ou **séquestrants**. Ceux-ci sont introduits en faible quantité en entrée des membranes pour éviter la précipitation des sels et donc le colmatage des membranes. Ils sont entièrement rejetés par la membrane et se trouvent donc concentrés dans le concentrât (ils sont concentrés 6.7 fois pour un taux de conversion membranaire de 0.85). Aujourd'hui, les principaux séquestrants utilisés sont formés de **phosphonates** et ont donc un taux de **phosphore total** relativement élevé.

Trois types de séquestrants sont utilisés :

- Les **polyphosphates**

HMP : hexametaphosphates (Na PO₃)

Ce produit est agréé pour la production d'eau potable mais présente l'inconvénient de s'hydrolyser facilement en **orthophosphates**. Le risque de formation de **phosphonates de calcium** est alors augmenté.

- Les **phosphonates**

- ATMP (acide amino tris (méthylène)phosphonic)
- PBTC (phosphonate butane tricarboxylique)
- HEDP (1-hydroxy-éthane diphosphonic acid)
- EDTMP (ethylene diamine tetra méthylène phosphonic acid).
- HMDTMP (hexa méthylène diamine tetra méthylène phosphonic acid)

- Les **polycarboxylates**

Il s'agit des polymères de l'acide carboxylique à savoir :

- Acide acrylique (terpolymère)
- Acide métacrylique (co polymère)
- Acide maléïque

Les séquestrants les plus utilisés sont constitués de molécules du type phosphonates et peuvent également contenir des polycarboxylates. L'Hypersperse dont l'emploi a été commercialisé par Argo scientific contient ces deux types de molécules (HEDP). Le Permatreat (commercialisé par Houseman) est constitué uniquement de phosphonates (ATMP) (Tableau 4). Ces deux types de molécules sont peu biodégradables.

	Phosphonates (mg/l)	Polycarboxylates (mg/l)	Phosphore total (mg/l)
Hypersperse	1.04	1.45	0.3
Permatreat	3.4		1.2

Tableau 4 : Charge apportée (en produit actif) au concentrât en fonction de l'inhibiteur utilisé à un taux de 2 mg/L (Dose de traitement de l'usine de Méry-sur-Oise) exprimé en produit commercial

La CE 50 pour les algues est de 12 mg/l pour l'ATMP, de 3 mg/l pour l'HEDP et de 20 mg/l pour l'acide métacrylique (Annexe 8) et l'Hypersperse est ajouté à un taux de 5 mg/l à Méry-sur-Oise par exemple. Il convient donc de les surveiller dans les rejets.

Le composant qui pourrait avoir le plus d'impact sur le milieu naturel dans les concentrats est le séquestrant, plusieurs études ont alors étudié les propriétés des phosphonates ont alors été étudiés afin d'évaluer leur effet sur le milieu naturel.

L'utilisation des phosphonates est soumise à l'autorisation préalable du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France. En dehors d'une réglementation sur la teneur en phosphore total, il n'existe pas de normes spécifiques concernant la présence de phosphonates dans le milieu naturel.

Les phosphonates caractérisés par la présence d'un groupe $-C-PO_3H_2$ sont des composés organiques du phosphore largement utilisés dans le traitement des eaux industrielles (eaux de refroidissement, eaux de chaudières) et dans les produits de nettoyage. Ils entrent dans la composition de nombreux produits de blanchiment (papeteries), modification des ciments (retardateur de prise)... .

Ils possèdent les propriétés suivantes :

- une grande solubilité dans l'eau,
- un effet de seuil pour le développement de cristaux de sels,
- un pouvoir de séquestration des ions métalliques,
- un pouvoir de dispersion des particules.

[Compagnie générale des eaux. 1998]

Des tests (Annexe 10) montrent que la toxicité des phosphonates est faible. Pour les organismes aquatiques, on obtient des CE 50 entre 11000 mg/l et 0.42 mg/l alors que la concentration moyenne en phosphonate dans les eaux de surface en Europe est de 0.25 µg/l. De plus le facteur de bioconcentration dans les poissons est très bas. Les phosphonates sont peu absorbés dans le tractus gastro intestinal et la dose absorbée est majoritairement excrétée par les reins. Pour l'homme, la toxicité des phosphonates est également faible, ils peuvent même être utilisés dans la composition des médicaments [Nowack., 2003].

Un comité de coordination scientifique, mis en place par le ministère de l'environnement, a fixé les valeurs de PNEC (Predicted Non Effect Concentration) pour les phosphonates et les polycarboxylates :

- 460 µg/l phosphonates
- 620 µg/l polycarboxylates

(PNEC obtenue à partir du Non Observed Effect concentration auquel un facteur de minoration est appliqué : ici 50 pour les phosphonates et 10 les polycarboxylates).

Il sera possible à partir des doses utilisées et de la nature du séquestrant de calculer les concentrations maximums de phosphonates et de polycarboxylates dans le rejet (en supposant que tout le séquestrant se retrouve dans le rejet) et de comparer ces valeurs aux PNEC pour déterminer si il existe un risque d'écotoxicité.

A titre d'exemple, dans l'usine de nanofiltration de Méry-sur-Oise, le débit maximum de concentrat produit, lorsque toutes les files de nanofiltration sont en service est de 0.29 m³/s. le débit d'étiage de l'Oise est de 30 m³/s (le débit moyen est de 100 m³/s). Le débit rejeté ne représente donc au maximum que 1% du débit de la rivière (la valeur moyenne sera de 0.3%). Sachant que le taux de traitement est de 2 mg/l d'Hypersperse et que la charge apportée en phosphonates est de 1.04 mg/l et en polycarboxylate de 1.45 mg/l pour ce taux de traitement. Si l'on tient compte de ce facteur de dilution le plus pessimiste, la concentration maximum en phosphonates ou en polycarboxylates rencontrée dans la rivière à la suite du rejet du concentrat sera, en fonction de l'inhibiteur utilisé :

- 24 µg/l phosphonates
- 15 µg/l polycarboxylates

Ces chiffres sont donc de 20 à 40 fois inférieurs au PNEC (460 µg/l phosphonates ; 620 µg/l polycarboxylates) fixé par le ministère de l'environnement [Compagnie Générale des Eaux., 1998].

L'ensemble de ces éléments permet de classer les polycarboxylates comme peu toxiques. Cependant la dégradation des phosphonates en phosphore peut entraîner des problèmes d'eutrophisation du milieu.

2.3.4 Les produits et sous produits d'osmose inverse

L'utilisation de l'osmose inverse nécessite une phase de prétraitement qui peut jouer sur les caractéristiques du concentrât. Le prétraitement peut être effectué par filtration sur cartouche, sur sable ou ultrafiltration. Les produits chimiques utilisés lors du prétraitement sont principalement des **acides** et des **séquestrants** utilisés pour baisser le pH de l'eau, modifier l'équilibre calco-carbonique et éviter la précipitation des sels:

- NaOCl ou le chlore utilisé pour empêcher la croissance bactérienne.
- FeCl₃ ou AlCl₃ utilisé pour la floculation et le retrait des matières en suspension.
- H₂SO₄ ou HCl permettent d'ajuster le pH.
- SHMP (NaPO₃)₆ qui sont des séquestrants (environ 10 mg/l).
- NaHSO₃ utilisé pour neutraliser les résidus de chlore.

Les produits chimiques capables de se dissoudre dans l'eau forment des ions similaires à ceux déjà présents dans l'eau. Par exemple, l'acide sulfurique augmente la concentration en SO₄ de 3020 à 3050 mg/l [Squire., 2000].

Ainsi, les rejets d'usine d'eau potable sont composés des divers éléments dérivant des produits chimiques ajoutés tout au long de la filière de traitement (SO₄²⁻, Na, Fe, Al, Cl-...). Ces composés seront à prendre en compte lors de l'analyse physico chimique des rejets. Les sous produits issus de la désinfection chimique, présents seulement à l'état de trace ne posent à priori pas de problème pour l'environnement. Les séquestrants ajoutés pour les traitements de nanofiltration et d'osmose inverse augmentent le taux en phosphore dans les rejets et sont à surveiller.

2.4 La qualité des rejets et les modes de gestion

2.4.1 Les terres de décantation

Les boues de décanteur sont classées minérales. La teneur en hydroxydes métalliques varie entre 30% et 70% de la matière sèche et la teneur en matières organiques varie entre 10% et 30%. Les terres de décantation sont selon leur qualité et rejetées dans le **milieu naturel**, envoyées en **décharge de classe I** ou **traitées** sur une filière annexe à la filière de production d'eau potable qui produit également des eaux de surverse rejetées au **milieu naturel** [Maret A et al., 2002].

2.4.2 CAG et CAP

Quand le CAG des filtres n'est plus régénérable, il est éliminé par mise en **décharge** de classe II, voire de classe I, en cas de toxicité.

Lorsque les concentrations en pesticides sont importantes au printemps et en automne, au moment des traitements agricoles. On ajoute souvent du CAP afin de corriger ces pollutions ponctuelles. Le charbon actif se retrouve ensuite dans les purges de décanteur et les eaux de lavage des filtres. Quand il n'y a pas de **traitement** des boues, le CAP est envoyé directement au **milieu naturel** ce qui entraîne des déversements de micropolluants dans la rivière et des nuisances visuelles sur la couleur de l'eau [Maret A et al., 2002].

2.4.3 Eau de lavage des filtres

Historiquement, la méthode la plus utilisée pour traiter les eaux de lavage des filtres était l'épaississement ou le lagunage. Cependant ces méthodes sont lourdes car les floccs ont une densité faible. D'autres méthodes peuvent être utilisées comme la **refloculation**, la **flottaison par air dissout**, la **filtration sur membranes** et le rejet vers l'**usine de boues**, les **égouts** ou **milieu naturel** [Maret A et al., 2002] [Bourgeois J.C., 2003].

2.4.4 Les eaux résiduaires de microfiltration

A) Qualité

Une étude [Ducray et al., 2001] portant sur les eaux résiduaires issues des usines de Bouchevilliers (Eure) et d'Yvetot (Seine maritime) montre que les rejets issus du procédé de microfiltration ne respectent pas toujours les valeurs seuil autorisées (Tableau 5).

- Les eaux de décolmatage sont trop chargées en **azote total**, fer, et **MES**.
- Les eaux de nettoyage chimique dépassent les seuils autorisés pour la DCO, la teneur en **azote total**, en **fer** et en **mercure**.

Paramètres	Eaux de nettoyage chimique	Eaux de décolmatage	Seuils réglementaires	Ecotoxicité aquatique min	PNEC min
MES mg/l	7	31	28		
Fer µg/l	700	530	[300 – 1000]		
Mercure µg/l	5	5	1	0.7	0.036
Azote total mg/l	5	5.5	[1 -14]		
DCO mg/l	671	0.75	83		

Tableau 5: Substances dépassant les seuils réglementaires dans les eaux résiduaires de microfiltration

NB : Les concentrations réglementaires sont différentes en fonction du type d'eau à traiter et des textes réglementaires. Article 60 de l'arrêté du 02/02/98 relatif aux rejets dans les cours d'eau, directive n° 75-440 sur la qualité des eaux superficielles destinées à la production d'eau potable. L'écotoxicité aquatique, la PNEC et la concentration moyenne dans l'eau sont données à titre indicatif car la comparaison entre les concentrations présentes dans le rejet et ces paramètres doit tenir compte du facteur de dilution dans le milieu récepteur.

B) Gestion

Les eaux de décolmatage sont rejetées à la **rivière** après lagunage ou non selon les cas. Les eaux de nettoyage chimique sont évacuées dans un **cours d'eau** après neutralisation.

2.4.5 Les eaux résiduaires d'ultrafiltration

Selon une étude réalisée sur le site de Clay Lane [Ducray et al., 2001], les trois types d'eaux résiduaires produites par l'étape d'ultrafiltration dépassent parfois les seuils réglementaires (article 60 de l'arrêté du 02/02/98 relatif aux rejets dans les cours d'eau, directive n° 75-440 sur la qualité des eaux superficielles destinées à la production d'eau potable) (Tableau 6).

- Les eaux de nettoyage chimique acide et basique dépassent les seuils pour la teneur en **MES**, **chlorures** et **mercure**.
- Les eaux de nettoyage chimique à la soude ont des concentrations trop élevée en **MES**, **azotes total**, et **mercure**.
- Les eaux de rétrolavage sont trop chargées en **azote total**, et en **MES**. Les eaux de rétrolavage ne sont à priori pas dangereuses pour le milieu naturel, elles ne contiennent pas de réactifs et peuvent être rejetées en principe sans traitement au milieu naturel, en effet :

- La clarification est totale sans adjonction de coagulants tels que les sels de fer ou d'aluminium.
- Aucune chloration n'est nécessaire.

Paramètres	Eaux de nettoyage chimique acide et basique	Eaux de nettoyage chimique à la soude	Eaux de rétrolavage	Seuils réglementaires	Ecotoxicité aquatique min	PNEC min
MES mg/l	37	68	36	28		
Chlorures mg/l	500	150	53	200		
Mercure µg/l	50	50	0.5	1	0.7	0.036
Azote total mg/l	7	7	7	[1 -14]		

Tableau 6: Substances dépassant les seuils réglementaires dans les eaux résiduelles d'ultrafiltration

2.4.6 Les rejets de nanofiltration

A) Qualité

a) Concentrât

Le concentrât est l'eau résiduelle de l'étape de nanofiltration, il est composé des éléments présents dans l'eau brute et des produits ajoutés lors du pré-traitement, sa nature dépend :

- de la nature de l'eau brute,
- de l'ajout de produits chimiques lors du pré-traitement,
- du type de membrane utilisée et du taux de conversion du procédé,
- du post-traitement,
- des conditions de fonctionnement.

Les membranes de nanofiltration arrêtent de nombreuses substances présentes dans l'eau brute qui se retrouvent ensuite concentrées dans le concentrat :

- les ions bivalents (70% à 90%) : **sulfates SO_4^{2-} , manganèse Mn^{+2} , calcium Ca^{2+} , et magnésium Mg^{2+}**
- les **polluants organiques** et notamment la plupart des **pesticides**, des matières à l'origine de la **coloration** de l'eau, des **précurseurs de THM** des **acides humiques et fulviques** et du **carbone organique dissous biodégradable** (CODB).

Le degré de concentration d'une espèce dépend du degré de rétention de la membrane pour cette espèce.

Selon les différentes études [Nedrelouf M et al., 2004] [Ducray F et al., 2001], les paramètres les plus problématiques et dépassant parfois les seuils réglementaires (article 60 de l'arrêté du 02/02/98 relatif aux rejets dans les cours d'eau, directive n° 75-440 sur la qualité des eaux superficielles destinées à la production d'eau potable) dans les concentrâts sont : les sulfates, le chlorure, le phosphate, le fer, le sodium, le manganèse, l'azote total, le mercure et les séquestrants qui augmentent la concentration en P total (tableau 7).

Paramètre	Concentrations	Seuils réglementaires	Ecotoxicité aquatique min	PNEC min	Concentration moyenne dans l'eau
Sulfate mg/l	[680 -3880]	250			
Azote total mg/l	5	[1 – 14]			
Chlorure mg/l	[75-210]	200			
Phosphate mg/l	4.2				
Fer µg/l	[5 -20]	[300 -2000]			
Sodium mg/l	[38 -1030]				
Manganèse µg/l	80	[50 – 1000]			0.02 à 85.6
Mercuré µg/l	5	1	0.7	0.036	

Tableau 7: Substances dépassant les seuils réglementaires dans les concentrats des usines de Jarny et de Méry-sur-Oise [Ducray F et al., 2001]

b) Les eaux de nettoyage chimique neutralisée

Les eaux de nettoyage des filtres de l'usine de Méry-sur-Oise sont relativement peu chargées mais présentent des dépassements de la réglementation (article 60 de l'arrêté du 02/02/98 relatif aux rejets dans les cours d'eau, directive n° 75-440 sur la qualité des eaux superficielles destinées à la production d'eau potable) pour la DCO, l'azote total, le mercure et le manganèse (Tableau 8) [Ducray F et al., 2001].

Paramètres	Concentrations	Seuil réglementaire	Ecotoxicité aquatique min	PNEC min	Concentration moyenne dans l'eau
DCO (mg/l)	255	[50 -83]			
Azote total (mg/l)	10	[3 – 14]			
Mercuré (µg/l)	5	1	0.7	0.036	
Manganèse (µg/l)	120	[50 -1000]			0.02 à 85.6

Tableau 8: Substances dépassant les seuils réglementaires dans les eaux de nettoyage des filtres de l'usine de Méry-sur-Oise [Ducray F et al., 2001]

B) Mode de gestion

Actuellement, en France le concentrat est rejeté dans le **milieu naturel**, et plus rarement évacué dans les **égouts** ou **recyclé** dans l'usine.

Au Etats-Unis, les concentrats sont traités selon différentes méthodes :

- Rejet dans les eaux de surface : c'est la méthode la plus répandue.
- Rejet à l'égout : cette pratique correspond plutôt à des rejets de concentrats de petites installations.
- Application dans le sol : Les applications dans le sol sont principalement l'irrigation par aspersion, l'infiltration rapide et la percolation. L'intégrité des nappes aquifères réceptrice ne doit pas être atteinte.
- L'injection dans des puits consiste à injecter les concentrats sous pression ou par gravité dans des puits profonds de 700 à 1000 mètres de profondeur. Actuellement cette méthode est interdite en France.
- L'évaporation en étang. Elle est applicable pour des faibles rejets de concentrats dans les régions à climat chaud et sec avec de grands taux d'évaporation.

[Daines C et al., 2004]

C) Impact des concentrâts sur l'environnement

En général, les produits chimiques très solubles ne s'adsorbent pas aux sédiments ou au sol, cependant les propriétés de chélation des phosphonates leur procurent une affinité forte pour la portion minérale des sols. La mobilité des phosphonates dans les sols est très faible, le risque de contamination des eaux souterraines est donc réduit. Selon l'USEPA (United States Environmental Protection Agency), les phosphonates sont classés dans les substances modérément à légèrement mobiles.

L'introduction d'agent chélateurs, dans l'environnement peut modifier la distribution des métaux dans le milieu. Les agents complexant peuvent engendrer une désorption active des éléments trace métalliques ou interférer avec les mécanismes naturels d'adsorption. Ainsi les métaux lourds sont mobilisés et deviennent biodisponibles pour les espèces aquatiques et pour l'homme. Cependant, pour une concentration de phosphonates inférieure à 10 µg/l la mobilisation des métaux est considérée comme minime.

Les microorganismes ont plus d'affinité pour consommer le phosphore lorsque celui-ci se trouve sous sa forme minérale. Ceci explique que la biodégradabilité des phosphonates est un phénomène relativement lent. Toutefois, on a pu isoler certaines souches de *Pseudomonas* qui se nourrissent facilement de phosphonates. Les processus physico chimiques améliorent l'hydrolyse des phosphonates en phosphates et la dégradation des phosphonates s'améliore en présence d'ions ferriques Fe^{3+} [Gledhill W.E et al].

L'élimination du concentrât dans les usines de nanofiltration est un problème majeur, aux États-Unis on considère que les concentrâts sont des déchets industriels. Plusieurs études d'impact montrent que les bioessais réalisés sur les concentrâts se sont avérés négatifs. Cependant, l'AwwaRF (Awwa Research Foundation) explique certains de ces échecs par un déséquilibre ionique, c'est-à-dire par la différence de composition ionique entre le concentrât et l'environnement dans lequel les organismes du bioessai se sont acclimatés [Nedrelof M et al., 2004].

2.4.7 Les eaux résiduaires d'osmose inverse

A) Qualité

a) *Le concentrât*

Deux études [Squire., 2000] [Ducray et al., 2001] montrent que les polluants détectés dans les concentrâts sont généralement : le cuivre, le fer, le plomb, le nickel, le zinc, les sulfates, les chlorures et le mercure, l'azote (sous forme d'ammoniaque, de nitrates, de nitrites, et d'azote total Kjeldahl) et le phosphore (Tableau 9).

b) *Les eaux de lavage des membranes*

Le lavage des membranes est effectué en général 3 à 4 fois par an. Les produits chimiques utilisés sont surtout des **acides faibles** et des **détergents** (acide citrique, polyphosphate de sodium et EDTA) qui permettent d'enlever les dépôts de carbonate.

Une étude [Ducray et al., 2001] montre que les seuils réglementaires pour la teneur en azote total, DCO, fer et mercure sont dépassés dans les eaux de nettoyage chimique de l'usine de Madrid (Tableau 9).

Paramètres	Eaux de nettoyage chimique	Concentrât	Seuils réglementaires	Ecotoxicité aquatique	PNEC min	Concentration moyenne dans l'eau
Cuivre µg/l	50	50	50	0,05	0,8	
Fer µg/l	570	50	[5- 1000]			
Mercuré µg/l	5	5	1	0.7	0.036	
Azote total mg/l	31	28	[1 -14]			
DCO mg/l	526	5	83			
Plomb µg/l	50	50	50	4,3	1,6	
Nickel µg/l	50	50	500	5	0,5	0.5 à 10
Zinc µg/l	180	150		32	7.8	
Sulfates mg/l	40	2260	250			
Chlorures mg/l	10	430	200			

Tableau 9: Substances dépassant les seuils réglementaires dans les eaux résiduaires d'osmose inverse

B) Mode de gestion

Les concentrâts issus des procédés d'osmose inverse peuvent être gérés de différentes manières [Squire., 2000]:

- Rejet direct dans les **cours d'eau** ou la **mer**.

Le problème majeur est celui de l'effet sur l'environnement aquatique et la contamination du milieu par des espèces ioniques indésirables.

- Rejet indirect dans les cours d'eau ou la mer.
- **STEP**.
- **Irrigation**.

Le mode de gestion du concentrât dépend de ses caractéristiques physico-chimiques.

Les eaux de rinçage des membranes d'osmose inverse sont stockées après avoir été **traitées** en neutralisant les matériaux utilisés pour le lavage. Elles sont ensuite transportées sur des sites autorisés à accepter ces dépôts ou rejetées avec le concentrât.

C) Etude d'impact

Einay R et al., 2002 ont montré que l'impact des rejets d'usine de dessalement dépend du milieu récepteur (bathymétrie, courants, profondeur...) par exemple, les rejets en bord de mer sont moins problématiques que ceux qui peuvent être effectués à l'intérieur des terres, et dans certains écosystèmes comme des lagons. L'eau de mer peut contenir jusqu'à quelques pourcents de sel (35g/l), alors que l'eau potable en contient au maximum 10 mg/l, le concentrât est alors un effluent fortement concentré en sels. Le concentrât est composé d'eau de mer concentrée trois fois. L'impact environnemental est majoritaire au niveau de l'émissaire. Bien que le concentrât soit composé des mêmes constituants que l'eau de mer, la concentration élevée de ces matières les entraîne directement au fond de la mer sans qu'elles soient diluées.

Le rejet direct en mer entraîne le concentrât au fond et la dispersion de celui-ci se fait sur des centaines de mètres. Il est donc préférable de placer l'émissaire loin des plages et des rochers afin de préserver la faune et la flore marine. Un changement de l'équilibre de l'osmose par augmentation de la concentration en sel peut perturber le milieu marin, en effet cela peut provoquer une déshydratation des cellules des organismes marins puis la mort. L'étude de plusieurs émissaires d'usine montre que l'on observe une augmentation des concentrations en sel dans un rayon de 100 à 200 m autour du point de rejet. On observe parfois un impact sur la faune et la flore puisque certaines espèces ont disparu sur certains sites et sur d'autres non.

Une autre étude a été menée aux Etats-Unis en Floride afin d'évaluer les impacts du rejet des concentrats directement en mer. Les usines étudiées sont de petites usines, la plus importante produit 5500 m³/j. Les concentrations en sel les plus élevées retrouvées dans les concentrats sont de 39 g/l alors que la concentration dans la mer est de 35 g/l. Les concentrats sont rejetés directement dans la mer le long de la cote. Les populations d'invertébrés (foraminifères), poissons et algues ont été suivies sur une section de 10 m de long. Aucun changement n'a été observé sur les populations mais des concentrations élevées en sel ont été mesurées dans la direction du flux.

Une étude écotoxicologique réalisée en 1992 en Californie sur les rejets d'une usine de dessalement utilisant l'osmose inverse montre que le concentrat n'a pas d'effet toxique sur les amphipodes, les spores de varech (algue) et le développement embryonnaire des oursins.

Cette première partie de l'étude a permis de :

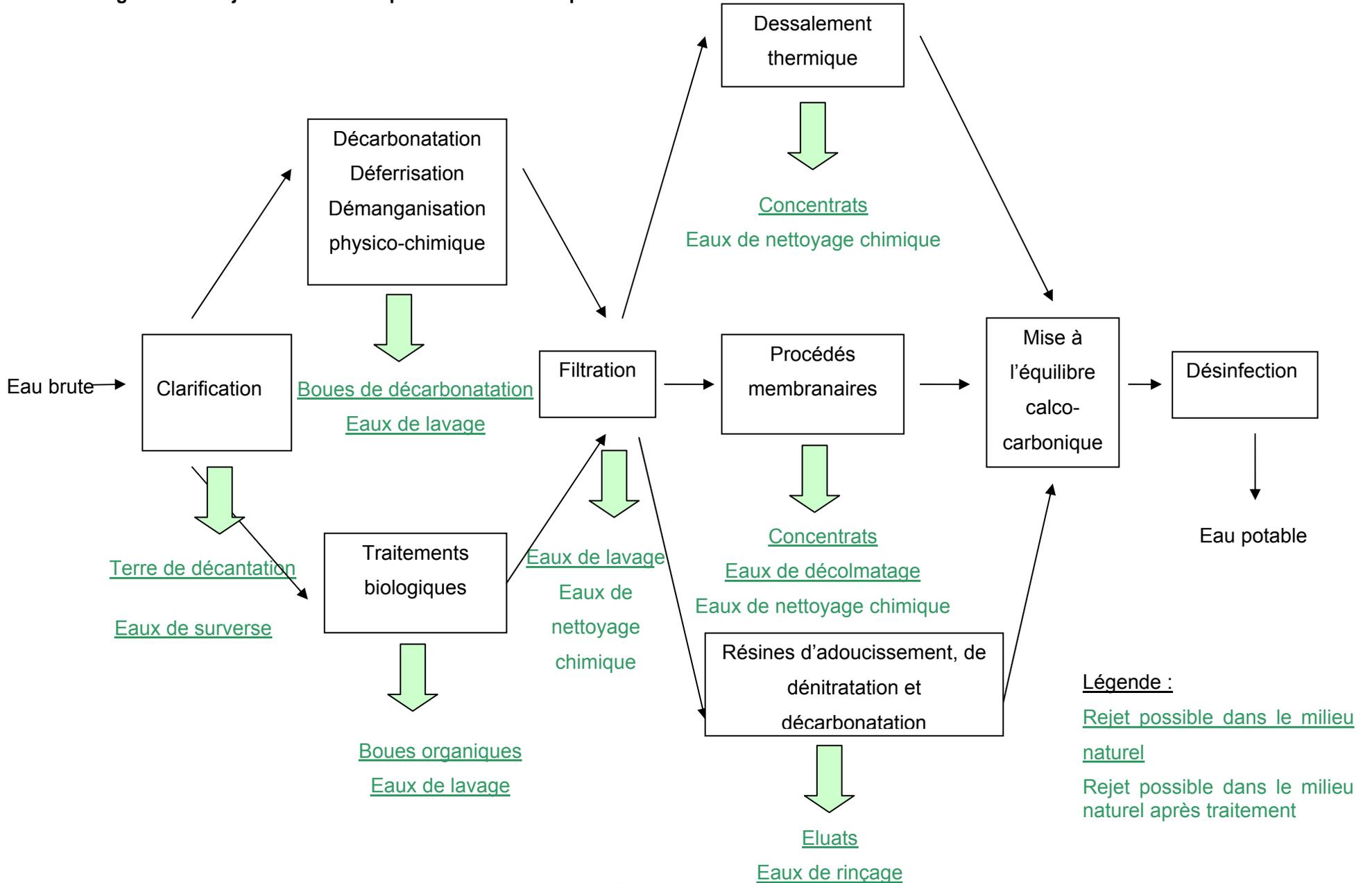
- Caractériser les substances présentes dans l'eau brute qui se retrouvent concentrées dans les rejets.
- Identifier les différents rejets liquides et solides générés par les usines de production d'eau potable en fonction de leur lieu de production et de leur nature.
- D'établir une liste des produits et sous produits qui peuvent être présents dans les rejets et potentiellement toxiques pour l'environnement.
- Rassembler les données bibliographiques relatives à la qualité, à la gestion de ces effluents et à l'impact de ces rejets sur le milieu naturel.

Ces données permettent de conclure que :

- Il existe une grande diversité de situations selon la filière utilisée, les quantités d'eau traitée, le mode de gestion... (Figure 5).
- L'étude se focalisera en premier sur les rejets des techniques membranaires car elles sont actuellement en plein essor et leur impact potentiel est aujourd'hui mal maîtrisé. En effet, les rejets issus des techniques membranaires importants en volume et constitués de nombreuses substances paraissent intéressants à inclure dans une étude d'impact écotoxicologique. Ces rejets contiennent les éléments présents dans l'eau brute de manière concentrée et les éléments ajoutés lors du traitement. De plus certaines études montrent que les rejets issus de la nanofiltration pourraient poser des problèmes d'eutrophisation du milieu et que les rejets issus de l'osmose inverse ont dans certains cas un impact sur la faune et la flore. Cependant, les eaux de lavage des filtres et les rejets issus des résines échangeuses d'ions moins importants en volume pourraient également avoir un impact sur le milieu. Et même si l'étude ne traite dans un premier temps que des rejets liquides, il serait également intéressant de connaître la qualité et la quantité des terres de décantation (présence de CAP,...) rejetées dans le milieu naturel et des eaux de surverse issues du traitement des boues.

Les articles bibliographiques sur la qualité, la quantité et la gestion des rejets étant peu nombreux, un état des lieux sur les usines du groupe permet de compléter ces informations afin de connaître les rejets les plus préoccupants.

Figure 5: Les rejets d'usine d'eau potable associés au procédé de traitement



3 Etat des lieux Veolia eau

3.1 Cartographie des filières de potabilisation et des rejets : données disponibles

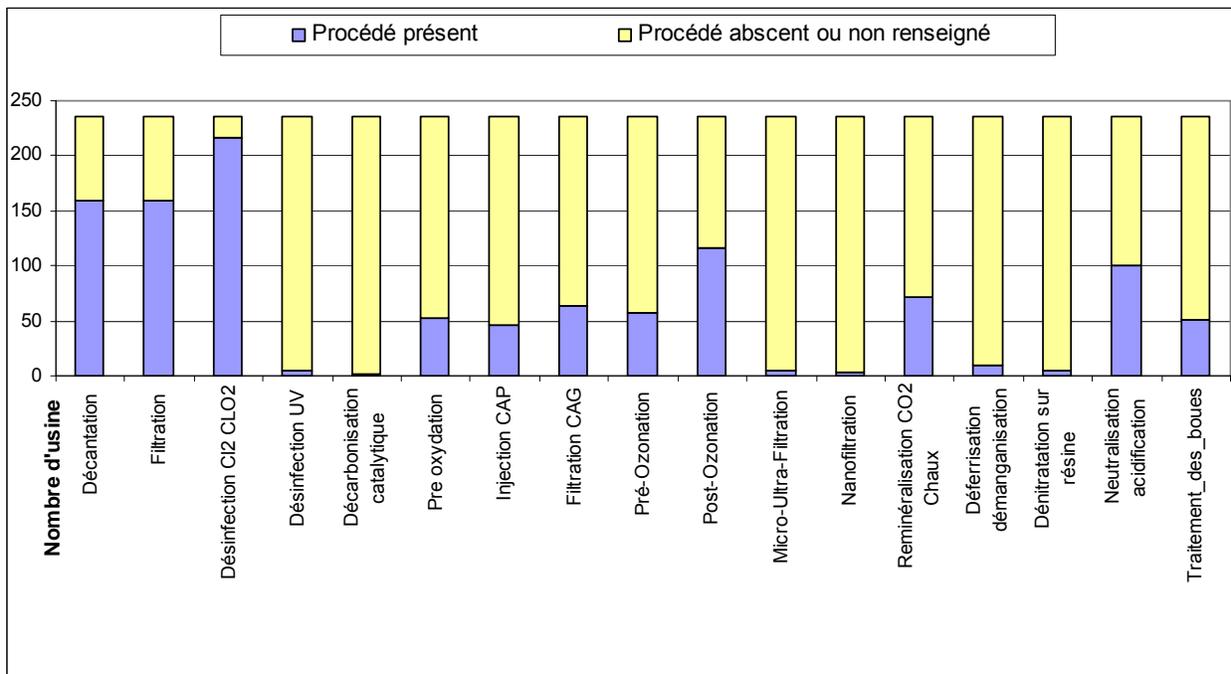
Afin d'identifier les rejets pertinents à étudier pour le groupe Veolia, il est important de connaître la représentativité des filières de potabilisation et des modes de gestions de leurs rejets. Deux enquêtes réalisées au sein du groupe permettent de répondre en partie à ces attentes.

3.1.1 Représentativité des différentes filières de potabilisation de l'eau et quantité d'eau potable produite

Les graphiques ci-dessous ont été obtenus à partir d'un tableau de données fournit par la direction technique Veolia Eau. Il établit un inventaire des installations en France en 2005 selon la filière de traitement utilisée et le volume d'eau produit. Bien que ce tableau ne soit pas complet car les données ne sont pas toutes renseignées et ne sachant pas si toutes les installations de production d'eau potable ont bien répondues au questionnaire, il permet d'avoir une première idée des la représentativité des filières d'eau potable en France.

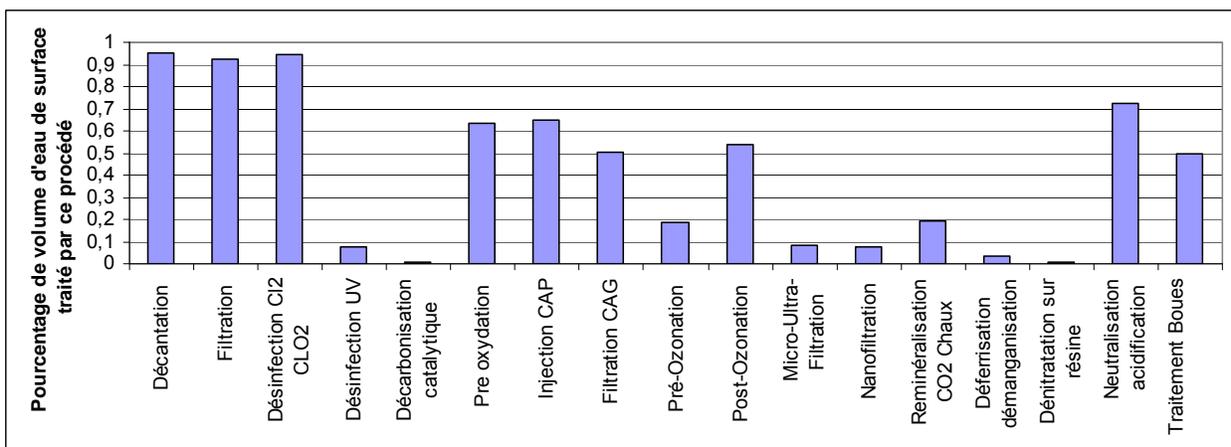
Au sein du groupe, l'eau souterraine représente environ 45% de la ressource exploitée (680 millions m³/an d'eau potable produite), elle est traitée par 2276 installations (source, forage, usine, puits). L'eau de surface représente environ 55% de la ressource exploitée (860 millions m³/an d'eau potable produite) et elle est traitée par 268 installations.

Le traitement de l'eau souterraine générant peu de rejets (traitements simples ou uniquement désinfection), nous nous occuperons dans un premier temps que des installations qui traitent l'eau de surface. Les données prises en compte dans les graphiques suivant concernent 235 usines car les volumes produits en m³/an sont inconnus pour les 33 usines restantes.



Graphique 1: Nombre d'usines utilisant un procédé spécifique pour traiter l'eau de surface

Ce premier graphique permet de connaître la fréquence d'utilisation des divers procédés pour obtenir de l'eau potable. On peut en déduire les rejets les plus importants en nombre et pouvant donc avoir potentiellement un impact en de nombreux lieux. Les rejets de décantation et de filtration sont les plus importants. Les rejets de CAP, CAG et de traitement des boues sont relativement importants. La désinfection chimique qui ne crée pas de rejets est elle aussi largement utilisée. Les procédés de déferri-sation, de dé-manganisation, les techniques membranaires et les résines échangeuses d'ions sont utilisés par un nombre très restreint d'usines.



Graphique 2 : Pourcentage de volume d'eau de surface traité par ce procédé

Le graphique 2 représente le pourcentage en volume des eaux traitées par les différents procédés. Si l'on considère que le volume d'eau traité est proportionnel au volume d'eau présent dans les rejets, on observe que :

- En quantité, les rejets les plus importants sont ceux de décantation, de filtration, de CAP, de CAG et de traitement des boues.
- Au contraire, les rejets des techniques membranaires et des résines échangeuses d'ions sont très faibles.

Ces données sont à interpréter avec précaution car en fonction du procédé de traitement, le ratio eau brute sur eau rejetée est différent.

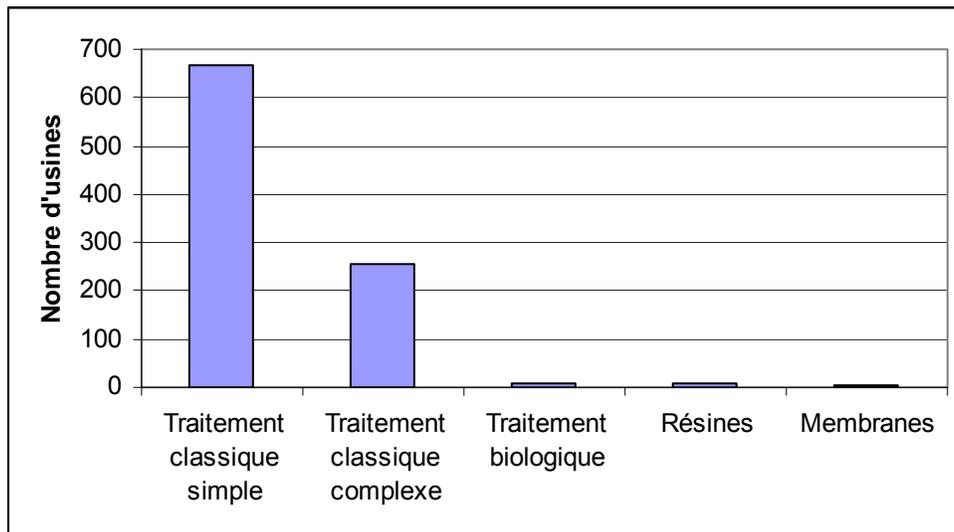
De plus la quantité d'eau produite par usine est très variable (1000 à 124200 000 m³/an). Ainsi sur les 235 installations traitant de l'eau de surface, les 10 plus grosses produisent 76% de l'eau potable soit 520 millions de m³/an d'eau potable. Il est donc important de surveiller les grosses unités de potabilisation de l'eau qui génèrent des rejets importants en un point donné.

Cette enquête montre que les rejets les plus importants sont principalement ceux de décantation, de filtration de CAP et de CAG. Les rejets issus des techniques membranaires et des résines échangeuses d'ions sont quant à eux très minoritaires.

3.1.2 Représentativité des différentes filières de potabilisation de l'eau et gestion des rejets

Une autre enquête réalisée par la direction technique Veolia Eau en 2001 permet de classer les usines par type de filière (Graphique 3).

Les informations relatives à la distribution des usines selon leur filière de traitement ont été obtenues pour 944 usines.



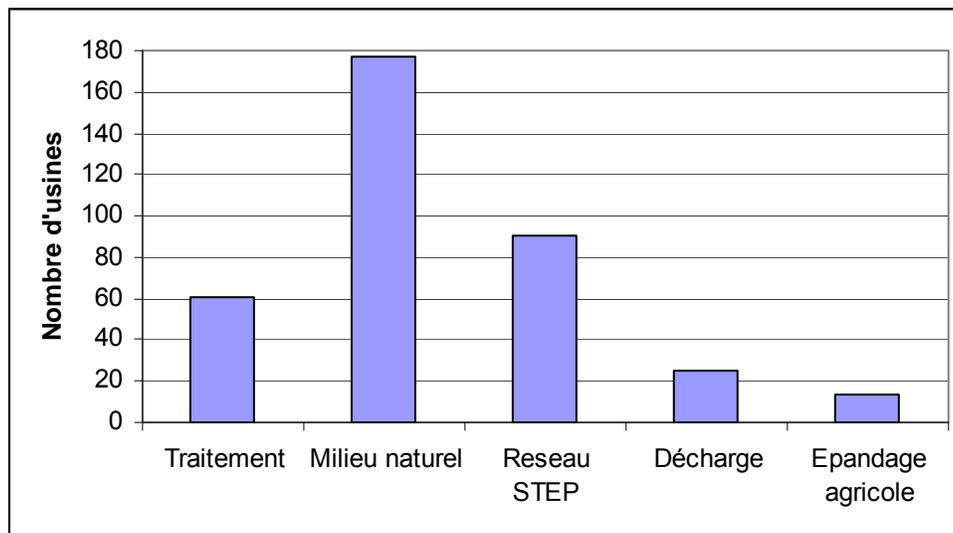
Graphique 3: Distribution des usines en fonction des filières de traitement

NB : La filière de traitement classique simple correspond à une filière simple de traitement avec des étapes de neutralisation et désinfection ; traitement classique complexe : filtration et désinfection ; déferrisation physico-chimique, neutralisation et désinfection ; désinfection seule. Les usines avec un traitement classique complexe comprennent : filtration avec

collage et décarbonatation ; floculation-décantation, prétraitement, oxydation intermédiaire type ozone, oxydation suivie d'une filtration type CAG, l'emploi de CAP...

La grande majorité des usines (70%) (Graphique 3) utilisent une filière de traitement classique (qui correspond sans doute le plus souvent au traitement des eaux souterraines), leurs rejets sont donc majoritaires. Les usines utilisant les procédés de traitement biologiques, les résines échangeuses d'ions et les techniques membranaires représentent une faible proportion des unités de production d'eau potable ayant répondues à l'enquête (environ 2%).

Cette enquête a également fournit des données sur la destination des rejets des usines. Cette enquête porte sur 366 usines.



Graphique 4: Destination des rejets d'usines d'eau potable

Les rejets effectués dans le milieu naturel représentent environ 50% des cas (Graphique 4).

Pour les usines utilisant un traitement classique simple, les rejets au milieu naturel représentent 75% des cas et pour celle utilisant un traitement classique complexe, 40%. Sur les 3 usines utilisant des techniques membranaires et ayant répondu à cette étude, 2 effectuent des rejets dans le milieu naturel. Et sur les 9 usines utilisant des résines échangeuses d'ions, aucune n'effectuent de rejets dans le milieu naturel.

Il est difficile d'avoir une bonne vision de la gestion des différents rejets d'usine d'eau potable à partir de ces deux enquêtes, la première ne prenant pas en compte la destination du rejet et la deuxième ne portant que sur 366 usines sans distinguer le type d'eau traité et les quantités de rejets produites. Pour avoir une bonne évaluation des rejets qui présentent un intérêt dans le cadre de l'étude de l'impact écotoxicologique des rejets de production d'eau potable, les données disponibles et centralisées ne sont pas suffisantes, une enquête interne complémentaire s'avérerait donc utile. Une trame de questionnaire pour compléter ces informations a donc été préparée.

3.2 Cartographie des filières de production d'eau potable et des rejets : mise en place de l'enquête interne

Afin de déterminer quels sont les rejets pouvant potentiellement avoir un impact sur le milieu naturel, des informations supplémentaires et plus complètes telles que les quantités des rejets déversés dans le milieu naturel en fonction de la filière de traitement sont nécessaires. Ces informations seront obtenues à l'aide d'un questionnaire (Annexe 11) envoyé aux usines du groupe en France. Pour chaque étape de la filière des informations sur la gestion du rejet (mélange de différents rejets, traitement, rejet au milieu naturel,...), la nature et la quantité des produits ajoutés pour traiter l'eau, le volume du rejet et la fréquence de production du rejet devront être renseignés.

Ces informations combinées à celles de l'approche théorique menée au chapitre 2 permettront de classer en ordre de priorité les rejets les plus intéressants à étudier.

Les informations permettant à ce stade de l'étude de conclure quant aux rejets pouvant avoir potentiellement le plus d'impacts sur le milieu naturel sont synthétisées en Annexe 12.

En ce qui concerne les rejets liquides, il ressort que les rejets à priori concernés sont :

- Les eaux de surverse et les eaux de lavage des filtres sont des rejets chargés en substances pouvant entraîner une pollution à de fortes concentrations, de plus, ces rejets sont générés par de nombreuses usines d'eau potables, si ces rejets sont fréquemment envoyés dans le milieu naturel, il serait intéressant de les intégrer dans une étude d'impact écotoxicologique.
- Les eaux issues des techniques membranaires sont créées par un nombre restreint d'usines d'eau potables mais créent des rejets importants et potentiellement polluants souvent rejetés dans le milieu naturel, il est donc intéressant de les inclure dans une étude d'impact écotoxicologique.
- Les eaux résiduaires issues des unités utilisant les résines échangeuses d'ions sont générées par peu d'usine et les rejets ne sont pas très importants en volume mais potentiellement dangereux pour le milieu naturel s'ils sont concentrés. Si la destination de ces rejets est le milieu naturel, il peut être pertinent d'étudier leur impact sur l'environnement.

Pour les boues :

Dans un premier temps l'étude ne porte pas sur ces rejets, mais il pourrait être intéressant de les inclure dans la mesure où ces rejets chargés sont parfois rejetés dans le milieu naturel.

L'enquête qui sera mise en place permettra de connaître la destination des différents rejets et de confirmer ou d'infirmer ces hypothèses

Afin d'évaluer l'impact de ces différents rejets sur le milieu naturel, différentes approches peuvent être utilisées.

4 Les méthodes d'évaluation de l'impact des rejets sur le milieu naturel

Les rejets effectués dans le milieu naturel peuvent avoir des impacts importants. En effet, selon leur composition, les effluents toxiques peuvent entraîner des effets irréversibles non seulement sur l'écosystème avec la disparition de certaines espèces et la contamination de la chaîne trophique mais aussi sur la santé humaine via la chaîne alimentaire. [Flammarion P., 2002].

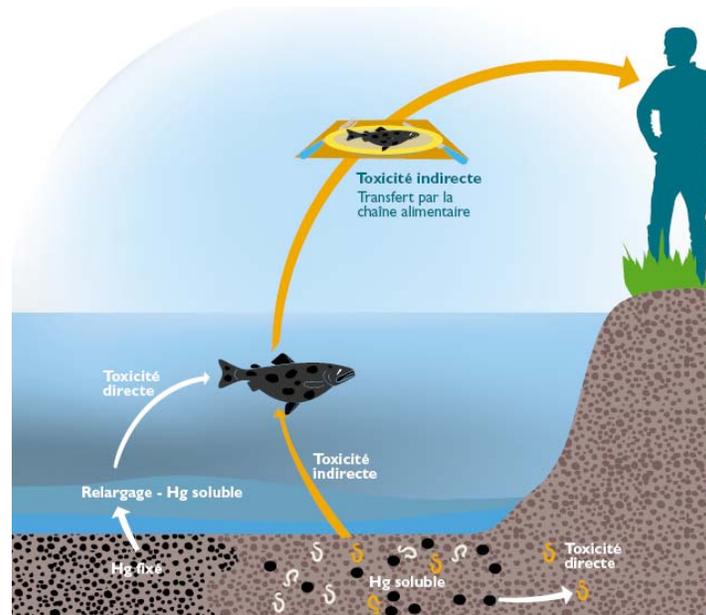


Figure 6: Exemple, la Toxicité du mercure: de l'environnement à l'homme (Source : Boucheseiche C et al., 2002)

4.1 L'approche chimique, microbiologique et écotoxicologique

Une analyse complète des impacts environnementaux des rejets nécessite à la fois l'utilisation des analyses microbiologiques, des tests physicochimiques et des tests biologiques, en effet ces outils sont complémentaires. L'approche microbiologique et physico chimique de la qualité des eaux permet de caractériser individuellement des microorganismes ou des polluants précis mais elle suppose que les contaminants soient identifiables et en nombre relativement restreints, ce qui est rarement le cas. Ainsi le recours aux outils biologiques qui permettent d'étudier les effets globaux d'une pollution sur le milieu (sans déterminer les espèces responsables) permettent une approche complémentaire. Par ailleurs, ces essais intègrent, d'une part, la biodisponibilité des différentes espèces chimiques présentes et d'autre part, les effets de synergie ou d'antagonisme qui peuvent se produire. Dans le cadre de l'évaluation des risques, les données physico chimiques permettent d'apporter des informations quant à l'exposition des organismes à certaines substances polluantes et les essais biologiques permettent d'évaluer le danger liés aux rejets sur les organismes [Source : Boucheseiche C et al., 2002] (Figure 7).

Différents outils biologiques complémentaires permettent de caractériser l'impact sur l'écosystème :

- Les tests d'écotoxicité (figure 7) (approche laboratoire)
- Les bioindicateurs écologiques de toxicité et les biomarqueurs (figure 7) (approche in situ)

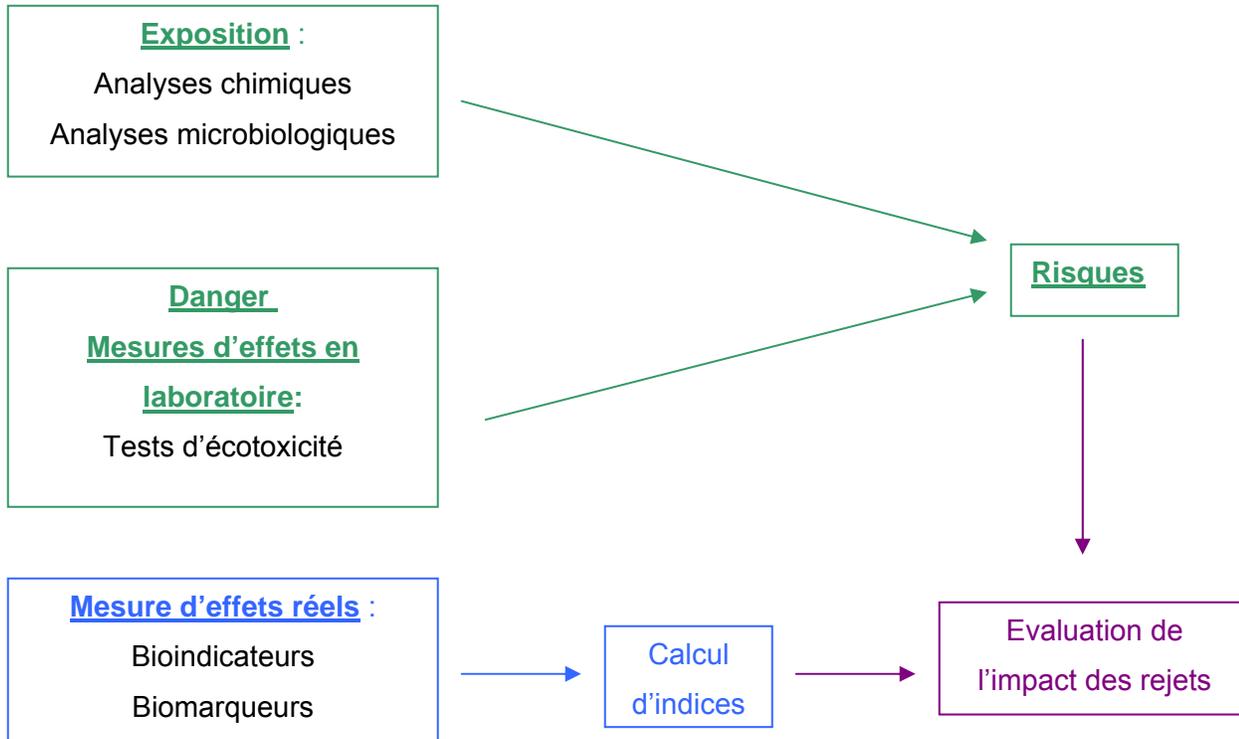


Figure 7 : Utilisation des différents outils biologiques dans l'évaluation de l'impact des rejets.

Dans ce rapport, nous nous limiterons à l'évaluation des risques et donc aux tests d'écotoxicité qui permettent d'évaluer les dangers liés à un effluent en laboratoire sous conditions contrôlées. Cependant, l'évaluation de la toxicité dans le milieu naturel peut être effectuée à l'aide de biomarqueurs et de bioindicateurs écologiques de toxicité dont l'utilisation est préconisée dans le cadre de la DCE. Les bioindicateurs permettent d'effectuer un inventaire des espèces présentes dans le milieu pour évaluer le niveau de contamination de celui-ci. Le principe des biomarqueurs est de mesurer les molécules biochimiques produites ou inhibées dans l'organisme en présence de toxiques.

Les tests d'écotoxicité (Figure 8) sont des tests en laboratoire au cours desquels une population d'organismes aquatiques est exposée à un effluent dont on veut estimer la toxicité afin d'évaluer les niveaux de concentration provoquant des effets recherchés : mortalité, baisse de reproduction, baisse de respiration,

Ces essais doivent être réalisés sur différents organismes de la chaîne trophique afin de caractériser la toxicité d'un effluent sur l'ensemble de l'écosystème concerné. Des organismes modèles sont utilisés, ils sont choisis pour leur facilité d'élevage, leur représentativité de l'ensemble de la chaîne trophique et leur grande sensibilité aux toxiques.

L'accent est mis sur la standardisation et la reproductibilité des mesures réalisées, de manière à obtenir une information fiable sur le phénomène de toxicité. Pour autant, les multiples facteurs influençant le milieu naturel ne sont pas pris en compte, ce qui ne permet pas une extrapolation directe à l'échelle de l'écosystème. Ce type d'outils permet d'évaluer le danger lié à une substance toxique ou à un mélange de substances toxiques. En ce sens, ils ont un rôle préventif dans la gestion des risques.

Le choix des tests devra être effectué en fonction du milieu (milieu dulçaquicole ou marin), de l'effluent considéré c'est-à-dire en fonction des eaux résiduaires étudiées et des objectifs de l'étude.

Différents types de tests sont utilisables en fonction de l'effet toxique que l'on veut mettre en évidence :

- Test de toxicité aiguë
- Test de toxicité chronique
- Test de génotoxicité



Figure 8: Un exemple d'organisme utilisé pour les essais d'écotoxicité : le microcrustacé *Daphnia magna* Straus

Les tests de toxicité aiguë sont des essais à court terme : les effets doivent se révéler dans un court laps de temps (de quelques heures à quelques jours en fonction du cycle de vie de l'animal) après administration d'une dose unique de substance. Si aucun effet n'est observé, la substance n'a pas de toxicité aiguë (ce qui ne veut pas dire que cette substance ne présente pas de toxicité chronique). Les réponses sont généralement exprimées en CE 50 (Concentration Efficace), CL (Concentration Létale pour les tests de mortalité) ou CI (Concentration d'Inhibition pour les tests d'activité), ces valeurs correspondent à la dose donnant 50% d'effet sur les organismes. En conséquence plus la CE 50 est élevée, moins le produit est toxique. Cette approche permet d'évaluer l'écotoxicité globale de l'effluent, ce qu'il est impossible de connaître à partir d'analyses chimiques seules (Annexe 13).

Les tests de toxicité chronique sont des essais à long terme. Les effets apparaissent après une exposition prolongée à la substance, mais sont imperceptibles sur une courte échelle de temps. L'observation des effets se fait sur une période beaucoup plus longue que pour les essais aigus (1/10^{ème} à 8/10^{ème} de la vie de l'animal.) Ils peuvent permettre d'évaluer la latence d'apparition des effets et leur réversibilité. Ils permettent de déterminer une concentration expérimentale en dessous de laquelle aucun effet toxique n'est observé sur l'espèce étudiée dans les conditions de l'essai : CSEO (Concentration sans effet observé) ou NOEC (No Observed Effect Concentration). On utilise également la LOEC (Lowest Observed Effect Concentration), qui est la concentration la plus forte n'entraînant aucun effet significatif sur la croissance par comparaison à l'échantillon témoin (Annexe 14).

Les tests de génotoxicité mettent en évidence les modifications du génome induites par des substances toxiques. En modifiant les gènes d'un organisme, les polluants peuvent porter atteinte aux cellules et aux organes, et perturber des fonctions physiologiques comme la croissance ou la reproduction. Il existe une très grande variété des degrés d'altération de l'ADN. Il est classique de distinguer :

- les lésions primaires à l'ADN (mutation de la séquence primaire de l'ADN)
- les mutations géniques, chromosomiques (effets clastogènes c'est-à-dire des clivages ou cassures du matériel génétique)
- Les mutations génomiques (effets aneugènes c'est-à-dire des anomalies du nombre de chromosomes).

Ainsi, il n'existe pas un mais plusieurs tests de mutagenèse susceptibles de révéler tels ou tels types de lésions ou de mutations. D'une manière générale, il faudra en associer plusieurs pour apprécier sur un type cellulaire quelconque à la fois les intensités des lésions primaires de l'ADN et les mutations géniques et génomiques. Au plan de la représentativité, les essais in vivo réalisés sur vertébrés et invertébrés aquatiques sont incontestablement supérieurs aux essais sur cellules. Le choix d'un modèle biologique dans les essais in vivo sera fonction du type d'échantillon (dulçaquicole ou marin), de la facilité de l'élevage des organismes, de leur disponibilité au cours de l'année, de leur sensibilité et de la facilité de détection de la génotoxicité. Afin d'obtenir des résultats les plus fiables possibles, il est intéressant d'utiliser à la fois des tests in vivo et des tests in vitro. Les essais in vitro sont bien adaptés au screening ou criblage (Identification de séquences d'ADN pouvant présenter des mutations) alors que les tests in vivo sont intéressants pour leur représentativité. L'utilisation du test d'Ames, dans le cadre d'un premier dépistage des échantillons à risque associé à un test des micronoyaux semble être un bon compromis dans le cadre de l'évaluation de la génotoxicité des échantillons complexes et de la prévision des effets potentiels. (Annexe 15)[Séché environnement. 2005] [Charissou A.M et al., 2006] [INERIS, 2002], [INRA, 2004].

Les tests d'écotoxicité aquatique les plus utilisés sont les suivants :

Test de toxicité aiguë	Test de toxicité chronique	Test de génotoxicité
<ul style="list-style-type: none"> • Inhibition de la mobilité de <i>Daphnia magna</i>. • Microtox • Test poisson 	<ul style="list-style-type: none"> • Inhibition de la reproduction <i>Ceriodaphnia dubia</i> • Test algues • <i>Brachionus caliciflorus</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Mutatox • SOS Chromotest

Tableau 10 : Tests d'écotoxicité et de génotoxicité les plus courants

Le choix des tests à réaliser sera effectué en fonction des organismes à étudier, en effet, les résultats d'analyse dépendent entre autre de l'espèce étudiée. Les invertébrés sont des organismes idéaux afin d'étudier les effets d'une pollution sur le milieu naturel. Ils ont un cycle de vie relativement court, une immobilité relative et un large spectre de sensibilité à la pollution organique. Au contraire, le poisson est un organisme mobile qui peut éviter la pollution plus facilement qu'un invertébré, l'activité du poisson étant de l'ordre de centaines de mètres selon l'espèce et la saison alors que le mouvement des invertébrés benthiques est de l'ordre du mètre. Cependant, la taille d'un poisson et sa place dans la chaîne trophique en font un organisme intéressant pour représenter la pollution notamment à l'échelle de l'individu [Kosmala., 1998].

4.2 Interprétation des bioessais

Pour l'interprétation des bioessais, l'union européenne distingue les catégories suivantes sur la base des résultats des tests sur les poissons, les daphnies et les algues vertes (Directive 93/21/CEE) :

- Très toxique : $CE_{50} < 1 \text{ mg/L}$
- Toxique : $1 \text{ mg/L} < CE_{50} < 10 \text{ mg/L}$
- Nocif : $10 \text{ mg/L} < CE_{50} < 100 \text{ mg/L}$
- Non toxique $CE_{50} > 100 \text{ mg/L}$

4.3 Evaluation de l'impact du rejet d'une substance toxique dans le milieu naturel

Dans le cas de l'approche physico chimique, à partir des résultats d'analyse, le risque peut être évalué par le rapport suivant : PEC/PNEC (Predictive Environmental Concentration) (Predictive Non Effect Concentration).

Le rapport PEC/PNEC est généralement utilisé afin d'estimer l'impact d'une substance rejetée dans le milieu aquatique.

Si $PEC/PNEC < 1$: on considère que le milieu récepteur n'est pas directement menacé.

Si $PEC/PNEC > 1$: il existe un risque potentiel pour le milieu aquatique récepteur.

Cette approche est réservée à l'étude de l'impact d'une substance spécifique et ne correspond pas à l'étude de l'impact d'un mélange de substances, cependant une caractérisation de l'impact des substances prises une à une dans un rejet peut nous donner des premières informations sur la toxicité globale du rejet lorsque les PEC et les PNEC sont connues.

La PEC est la concentration prédite dans l'environnement. C'est une évaluation de l'exposition. Il a été décidé au sein de l'Union Européenne de définir la PEC comme la concentration d'exposition en situation de « pire cas réaliste ». On estimera par conséquent la concentration d'une substance dans un cours d'eau lors de l'étiage. Les PEC, exprimées en $\mu\text{g/L}$, sont estimées à partir des concentrations mesurées dans les effluents industriels et de la dilution de l'effluent dans le milieu récepteur pour chaque point de rejet :

$$PEC = \frac{\text{Concentration}_{\text{Substance Effluent Industriel}} (\mu\text{g} / \text{L}) * \text{Débit}_{\text{Effluent}} (m^3 / j)}{\text{Débit}_{\text{Etiage Rivière}} (m^3 / j)}$$

Le débit de la rivière choisi comme référence correspond au débit d'étiage quinquennal, qui est le débit minimum annuel moyen sur 30 jours consécutifs, sur une fréquence quinquennale.

La PNEC est la concentration prévisible sans effet sur l'environnement. Une PNEC peut être extrapolée à partir de résultats d'essais d'écotoxicité réalisés en laboratoire.

Les organismes étudiés doivent représenter les 3 niveaux trophiques du milieu aquatique :

- algues
- invertébrés (daphnies le plus souvent)
- poissons

La PNEC est déterminée à partir de la concentration la plus faible d'une substance ayant un effet sur un des organismes de la chaîne trophique que ce soit une CE 50 pour un organisme ou une NOEC pour un autre. Cette valeur est ensuite divisée par un facteur d'extrapolation qui dépend du nombre et de la nature des informations disponibles pour l'écosystème. Le facteur

d'extrapolation est plus élevé si l'on dispose de peu d'informations. Les PNEC utilisées pour les polluants les plus courants sont disponibles sur le site internet de l'INERIS et pourront être utilisées. Les conditions d'utilisation des facteurs proposés par l'union européenne (C.E., 2003) sont décrites dans le tableau ci-dessous :

Données écotoxicologiques disponibles	Facteur d'extrapolation
Au moins une CL50 d'un essai court terme pour chacun des trois niveaux trophiques (poissons, invertébrés et algues)	1000
Une NOEC d'un essai long terme (poisson ou invertébrés)	100
Deux NOEC d'essais long terme avec deux espèces représentatives de deux niveaux trophiques (poissons et/ou invertébrés et/ou algues)	50
Trois NOEC d'essais long terme pour au moins trois espèces représentant trois niveaux trophiques (poissons, invertébrés, algues)	10
Données de terrain ou écosystème modèle	Évalué au cas par cas

Tableau 11: Utilisation de facteurs d'extrapolation dans l'évaluation des PNEC

Le rapport PEC/PNEC est un outil indispensable pour appréhender la notion de risque généré par une substance. Il faut cependant l'utiliser avec précaution, notamment pour les raisons décrites ci-après [Boucheseiche C et al., 2002] [INERIS., 2003] :

- Les méthodes d'estimation des PNEC intègrent d'importants facteurs d'incertitude, qu'il est possible de diminuer en augmentant la quantité d'information caractérisant la toxicité de la substance (production de résultats d'essais chroniques par exemple).
- Les jeux de données utilisés pour l'estimation des PNEC évoluent, en particulier lorsque de nouveaux tests d'écotoxicité sont réalisés. Ainsi, les valeurs de PNEC peuvent évoluer.
- La méthode d'évaluation des PEC intègre également des incertitudes (mesure ponctuelle des substances dans les rejets, pas toujours représentative de l'activité annuelle de l'entreprise ; incertitudes analytiques).
- Le rapport PEC/PNEC estime le risque lié à une substance et ne tient pas compte des effets dus à la présence conjointe de plusieurs substances dangereuses dans le milieu aquatique.
- Le rapport PEC/PNEC basés sur des données obtenues en laboratoire n'est pas représentatif des phénomènes se déroulant dans le milieu.

Cette approche pourra être utilisée dans le cadre de notre étude pour interpréter les résultats de l'analyse physico chimique.

5 Campagne d'analyses et d'essais

La préparation de la campagne d'analyse et d'essais consiste tout d'abord à choisir les analyses physico chimiques, microbiologiques et biologiques qui devront être réalisées en fonction de la composition du rejet étudié et des impacts que l'on veut mettre en évidence. Il s'agit ensuite de choisir les laboratoires partenaires de l'étude et de préciser les conditions de prélèvements des échantillons. Et finalement de choisir au sein du groupe les usines participant à l'étude.

5.1 Analyses physico chimique

Les substances prises en compte dans les analyses physico-chimiques(Annexe 16)) ont été définies à partir de :

- La liste des produits chimiques ajoutés pour le traitement de l'eau potable et des impuretés présentes à l'état de trace dans ces produits [Jaeger Y., 2006].
- Des sous produits formés tout au long de la filière.
- Des critères pris en compte dans le code de la santé publique pour la qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eau potable (Annexe 5).
- Des normes de rejets vers les eaux superficielles (Annexe 2). Certaines substances appartenant à la liste des 33 substances prioritaires (décision N°2455/2001/CE du parlement européen et du conseil du 20 novembre 2001) seront analysées (Annexe 4). (Les composés appartenant à cette liste sont repérés par un astérisque dans l'Annexe 16)

Certaines substances recensées dans ces différents textes ne seront pas mesurées dans cette étude car elles ne sont pas retrouvées dans les produits ajoutés pour le traitement de l'eau potable, elles seront mesurées seulement si elles sont déjà présentes en quantité élevée dans l'eau brute. Seuls les sous produits de désinfection chimique mesurés en routine seront pris en compte (bromate, chlorites et chlorures) et selon le traitement effectué d'autres sous produits de la désinfection chimique pourront être pris en compte. Les sous produits spécifiques à certains types de traitements seront mesurés en fonction des rejets étudiés.

Par ailleurs les indicateurs classiques de suivi de la pollution comme la DCO, la DBO₅ seront mesurés pour caractériser le rejet de manière globale.

Les résultats des analyses physico chimiques seront comparés par rapport aux normes de rejets existantes et pourront être utilisés pour calculer la PEC et ainsi obtenir le rapport PEC/PNEC quand la valeur de PNEC est disponible dans la littérature.

5.2 Analyses microbiologique

Il n'existe pas de réglementation spécifique en ce qui concerne la composition en microorganismes des rejets d'usine d'eau potable. Nous comparerons alors les valeurs seuil autorisées dans les zones de baignade à celle retrouvées dans les rejets d'usine d'eau potable afin d'obtenir un risque minimum. La nouvelle directive du 15 février 2006 qui devra être appliquée partout à partir du 25 mars 2008 concernant la gestion de la qualité des eaux de baignade prend en compte deux paramètres, les entérocoques intestinaux et *Escherichia coli*), nous retiendrons également ces deux paramètres afin d'avoir une idée globale de la qualité bactériologique du rejet. Selon le décret 2003-462 les salmonelles et les entérovirus font parties des microorganismes recherchés dans les eaux de baignade, nous les analyserons si l'eau brute traitée par l'usine présente des problèmes spécifiques pour ces deux paramètres.

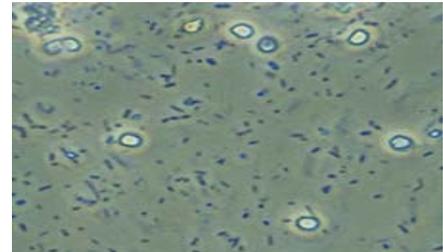
Cryptosporidium et *Giardia* sont des parasites fréquemment trouvés dans l'eau et qui peuvent se retrouver concentrés dans les rejets d'usine d'eau potable.

Les oocystes de *Cryptosporidium* sont très fréquemment rencontrés (les eaux de surface en Bretagne sont contaminées avec un niveau moyen d'oocystes supérieur à 10 cellules par litre [Charles., 2000]) et sont particulièrement résistantes aux procédés de traitement biocides chargés d'inactiver les agents biologiques. Pour un traitement effectué aux doses et au temps de contact pratiqué dans les installations, les traitements de chloration et d'ozonation ne sont pas efficaces pour garantir l'absence de risque lié à *Cryptosporidium*. Ce sont les procédés membranaires qui permettent la meilleure élimination de *Cryptosporidium* et *Giardia*. La filtration simple entraîne une réduction logarithmique décimale des concentrations en *Cryptosporidium*

de 0.5 à 1 alors que les techniques membranaires permettent une réduction supérieure à 5. Cependant, les traitements de clarification et filtration sur sable sont relativement efficaces puisque les rétentions observées au niveau de l'eau filtrée sont voisines de 99 % avec des réductions logarithmiques des concentrations de 1.9 pour les kystes de *Giardia* et de 2.3 pour les oocystes de *Cryptosporidium*. On dénombre encore quelques kystes dans 20 litres d'eau filtrée. Ainsi selon l'étude de Robert P et al., les eaux de lavage des filtres qui contiennent la quasi-totalité des cellules retenues par le média filtrant doivent impérativement être rejetées vers la filière de traitement des boues [Robert P et al., 2006].

L'analyse des kystes de *Giardia* et des oocystes de *Cryptosporidium* doit donc être réalisée dans les rejets effectués en amont de la filtration sur sable mais n'est pas nécessaire pour les rejets effectués en aval qui contiennent moins de parasites que l'eau de surface.

Figure 9: Oocystes de *Cryptosporidium*



Les analyses physico chimiques et microbiologiques seront réalisées par le CAE (Centre d'Analyses Environnementales) du groupe Veolia.

5.3 Analyses biologiques

5.3.1 Choix des tests

Afin d'avoir une bonne représentativité de l'effet toxique du rejet sur le milieu naturel, il est nécessaire de :

- sélectionner différents animaux de la chaîne trophique ainsi que des végétaux.
- des tests adaptés au milieu récepteur du rejet et à la nature de l'eau brute traitée, l'analyse des eaux résiduaires des usines traitant de l'eau douce et des usines de dessalement nécessite des tests différents et adaptés.
- des bioessais qui mettent en évidence différents effets biologique (reproduction, immobilisation,...) (Tableau 12).

Nous sélectionnerons donc des bactéries (*Vibrio fischeri*), des organismes modèles invertébrés (*Daphnia magna*, *Cerodaphnia dubia*) des poissons (*Danio rerio*) et des algues (*Pseudokirchneriella subcapitata*) en ce qui concerne le milieu dulçaquicole ; et des bactéries (*Vibrio fischeri*), des invertébrés (Copépodes marins, des poissons (Turbot) , des organismes filtreurs (*Crassostrea gigas*) tel l'huître et des algues (*Phaeodactylum tricornutum*) pour le milieu marin (Annexe 13, 8 et 9). Ces bioessais ont été choisis également pour la diversité des effets biologiques qu'ils mettent en évidence (Tableau 12).

	Survie ou immobilisation	Bioluminescence	Croissance population	Reproduction	Toxicité génétique
<i>Daphnia magna</i>					
<i>Vibrio fischeri</i>					
<i>Danio rerio</i>					
<i>Pseudokirchnerielle subcapitata</i>					
<i>Ceriodaphnia dubia</i>					
Copépodes marins					
Turbot					
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>					
<i>Crassostrea gigas</i>					
Test d'Ames					
SOS-Chromotest					

Tableau 12: Les différents effets mis en évidence par les bioessais

Ainsi si l'on trouve par exemple des valeurs plus faibles pour les tests reproduction que pour les tests de survie, on pourra conclure que la reproduction est une fonction plus sensible que la survie pour un rejet donné et donc évaluer les effets de ce rejet sur le milieu naturel.

Le choix des tests est effectué également en fonction de :

- la standardisation des essais qui assure une reconnaissance nationale et ou internationale
- la fréquence d'utilisation
- le coût
- la durée d'exposition lors des tests
- la facilité de réalisation du test

Les tests retenus sont présentés dans le tableau ci-dessous :

	Eau douce	Eau salée
Toxicité aiguë	<i>Daphnia magna</i> NF EN ISO 6341 <i>Vibrio fischeri</i> NF EN ISO 11348-3 <i>Danio rerio</i> NF EN ISO 7346-1/ T 90-303-1	<i>Vibrio fischeri</i> Test microtox NF EN ISO 11348-3 Copépodes marins ISO 14669 Turbot OSPARCOM OCDE 203
Toxicité chronique	<i>Pseudokirchnerielle subcapitata</i> NF EN ISO 8692/ T 90 375 <i>Ceriodaphnia dubia</i> NF T 90-376 <i>Danio rerio</i> ISO 7346-1 OCDE 215	<i>Phaeodactylum tricornutum</i> NF EN ISO 10253 <i>Crassostrea gigas</i> EPA-850-1055
Génotoxicité	Test d'Ames OCDE 471 SOS-Chromotest Kit commercial	

Tableau 13: Tests réalisés sur les rejets liquides des usines de potabilisation de l'eau

Parmi les tests choisis, tous les tests de toxicité aiguë et chronique ont une norme et sont donc fiables, standardisés et reconnus par le monde scientifique, les tests de génotoxicité utilisés depuis seulement une dizaine d'années n'ont pas de norme mais sont fréquemment utilisés. Il existe différents types de normes selon le niveau de reconnaissance du test, la norme NF est la Norme Française, la norme EN est la norme reconnue par le Comité Européen de

Normalisation (CEN), la norme ISO est donnée par l'organisation internationale de normalisation, il existe aussi des tests reconnus par l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economique) et l' EPA (Environmental Protection Agency). Dans la mesure du possible et quand le choix était possible entre plusieurs tests, les tests ayant une norme NF ont été choisis en priorité, en effet, les tests étant différents selon les pays, choisir une norme française permet une comparaison plus aisée des résultats obtenus.

Il a par ailleurs été choisis de ne pas réaliser tous les essais en même temps et systématiquement sur un même rejet afin de limiter le nombre d'analyses. Ainsi, les essais de toxicité aiguë seront réalisés en premier et si aucun effet n'est décelé, des essais de toxicité chronique seront ensuite réalisés sur un même échantillon. Les tests de génotoxicité seront réalisés sur tous les échantillons afin de caractériser le pouvoir mutagène de tous les rejets. Même si l'association tests in vivo et tests in vitro est conseillée, nous ne réaliserons que des tests in vitro dans un premier temps car ils sont plus simples à mettre en œuvre.

5.3.2 Choix du prestataire

Le laboratoire partenaire de l'étude a été choisi parmi ceux qui possèdent les compétences et les agréments nécessaires pour réaliser les tests (accréditation COFRAC (COmité Français d'Accréditation)). Le choix du laboratoire a ensuite été effectué selon les critères suivants :

- Liste des analyses proposées,
- Prix des analyses,
- Disponibilité du laboratoire,
- Relation avec le laboratoire.

Après avoir effectué une recherche des laboratoires les plus compétents en France, cinq laboratoires ont été sélectionnés et contactés. Le laboratoire retenu est le laboratoire SGS Multilab. En effet, ce laboratoire est le seul à proposer la liste complète des tests à la fois pour le milieu dulçaquicole et le milieu marin à des prix compétitifs.

5.3.3 Conditions de prélèvement et conservation des échantillons.

Les prélèvements seront effectués à l'aide de préleveurs automatiques quand cela est possible afin d'obtenir des échantillons moyens 24 heures dont les volumes prélevés sont proportionnels au débit d'effluent. Sinon des prélèvements ponctuels seront multipliés sur la journée de façon à être le plus représentatif possible de la réalité moyenne du rejet.

Les échantillons seront conditionnés selon la norme ISO 5667-3 c'est-à-dire que les flacons seront conservés à 4°C et qu'ils pourront être congelés durant le transport en fonction de sa durée. Les essais seront effectués dans les 48h qui suivent le prélèvement.

Pour les prélèvements effectués en eau douce, 75 litres d'échantillons seront nécessaires et pour ceux réalisée en milieu marin, environ 15 litres. En pratique, les échantillons seront alors prélevés dans des bidons de 5 litres et transportés dans des glacières réfrigérées. Les flacons et les glacières seront fournis par le laboratoire. La date, l'heure et le lieu de prélèvement seront annotés sur chaque flacon. Une société de transport sera d'acheminer les échantillons jusqu'au laboratoire.

5.4 Choix des usines et présentation

L'étude de l'impact environnemental des rejets d'usine d'eau potable porte tout d'abord sur les usines utilisant des procédés membranaires. En effet l'utilisation de ces procédés est relativement récente, ils peuvent être amenés à se développer et l'impact de leurs rejets au milieu naturel est mal connu.

Les usines utilisant ces procédés dans le groupe sont peu nombreuses ce qui restreint le choix. :

- Bouchevilliers et Héricourt en Caux en Normandie pour la microfiltration,
- Lorient, Condat et Clay Lane en Angleterre pour l'ultrafiltration,
- Magenta en Bretagne, Jarny en Meurthe et Moselle et Méry-sur-Oise dans le val d'Oise pour la nanofiltration,
- Gibraltar au Royaume-Uni et Ashkelon en Israël pour l'osmose inverse

De plus certaines de ces usines (Lorient et de Condat) ne sont pas pertinentes pour l'étude puisque leurs rejets sont renvoyés en tête de l'usine.

Ainsi, les usines qui seront étudiées dans un premier temps sont celles Clay Lane en Angleterre pour l'ultrafiltration, de Méry-sur-Oise pour la nanofiltration, d'Ashkelon en Israël et de Gibraltar pour l'osmose inverse. Des usines utilisant la microfiltration seront choisies ultérieurement. Les informations relatives aux usines de Clay Lane et de Ashkelon n'ont pas encore été collectées, un bref aperçu des ces usines sera alors présenté dans cette partie.

5.4.1 L'usine de Clay Lane : ultrafiltration

La station de Clay Lane (Angleterre) a été choisie pour participer à l'étude car il s'agit d'une des plus grandes du monde en ultrafiltration. Elle produit 160 000 m³/j. L'eau brute est une eau de forage et la filière comprend quatre étapes : ozonation, filtration CAG et une unité d'ultrafiltration qui permet la désinfection (Tableau 14).

Filière membranaire
1. Ozonation
2. Filtration CAG
3. Ultrafiltration
4. Désinfection

Tableau 14: La filière de traitement de Clay Lane

5.4.2 L'usine de Méry-sur-Oise : nanofiltration



Figure 10: Usine de nanofiltration de Méry-sur-Oise

L'usine de Méry-sur-Oise (département du Val-D'oise) a été choisie pour réaliser cette étude car c'est l'usine la plus importante du groupe en nanofiltration et elle génère d'importants rejets aujourd'hui évacués au milieu naturel (Figure 11). Elle ne peut pas prétendre être représentative de toutes les usines de nanofiltration puisqu'elles ont toutes leurs particularités

mais cela permettra d'avoir des premiers éléments de réponse quant à l'écotoxicité des eaux résiduaires de nanofiltration.



L'usine de Méry-sur-Oise est l'une des 3 usines de production d'eau potable du syndicat des eaux d'Ile-de-France (SEDIF) qui alimente le secteur nord de la banlieue de Paris. La Compagnie Générale des Eaux-Banlieue de Paris en est le régisseur. Ses principales missions sont d'exploiter les installations et d'assurer la distribution et la vente de l'eau à un ensemble de 39 communes soit 800 000 habitants.

Figure 11: Rejet de l'usine de nanofiltration effectué dans l'Oise

L'usine de Méry-sur-Oise (Annexe 17) comporte deux filières de production (Tableau 15) :

- La première filière dite « tranche 1 » d'une capacité de 200 000 m³/j, dispose d'un affinage sur CAG et fonctionne depuis 1965.
- Depuis 1999, la deuxième filière dite « tranche 2 », d'une capacité de 140 000 m³/j, dispose d'un affinage par NF.

La production moyenne est de 170 000 m³/j, elle est assurée par la tranche 2 à hauteur de 125 000 m³/j et par la tranche 1 à hauteur de 45 000 m³/j [Monroux R., 2002].

Les eaux de ces deux filières sont mélangées avant d'être envoyées dans le réseau.

Filière biologique : Tranche 1	Filière membranaire : Tranche 2
1. Coagulation –floculation	1. Coagulation-floculation
2. Décantation	2. Décantation
3. Filtration sur sable	3. Ozonation
4. Ozonation	4. Filtration bi-couche
5. Filtration sur charbon actif	5. Préfiltration
6. Chloration finale	6. Nanofiltration
	7. Désinfection UV

Tableau 15: Les 2 filières de traitement de Méry-sur-Oise

5.4.3 Osmose Inverse

Les usines de Gibraltar et Ashkelon ont été choisies pour participer à l'étude, ces deux usines présentent des caractéristiques différentes, en effet l'usine de Gibraltar est une usine produisant de faible quantité d'eau alors que celle d'Ashkelon produit des quantités d'eau très importantes. Nous pourrions ainsi connaître l'impact sur le milieu naturel de faibles rejets et de rejets très importants.

A) Usine de Gibraltar

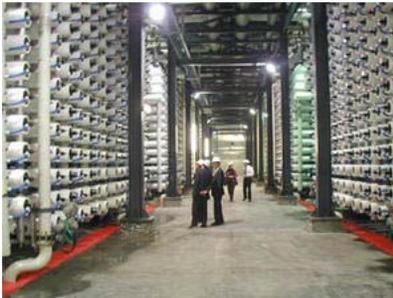
L'usine de dessalement de Gibraltar (Royaume-Unis) (Annexe 20) produit en moyenne 1200 m³/jour d'eau potable avec des pics à 13500 m³/jour et utilise le procédé d'osmose inverse (Tableau 16) afin de rendre l'eau de mer potable. Elle est alimentée en eau brute par deux sources :

- 1/3 de l'eau provient de prélèvements d'eau de surface effectués en pleine mer.
- 2/3 de la ressource proviennent d'un forage côtier qui puise de l'eau de mer.

Filière membranaire
1. Chloration
2. Filtration bicouche
3. Osmose inverse
4. Chloration

Tableau 16: La filière de traitement de Gibraltar

B) L'usine d'Ashkelon



C'est la plus grande usine de dessalement d'eau de mer utilisant l'osmose inverse dans le monde. Sa capacité de production est de 320.000 m³ d'eau potable par jour, soit un sixième de la consommation domestique de l'état hébreu. L'usine est composée de deux unités parallèles pouvant produire chacune 160 000 m³ par jour.

Figure 12: Usine d'osmose inverse d'Ashkelon

5.5 Avancement de la campagne

A ce jour, les sites pressentis pour la réalisation de la campagne d'analyse et d'essais ont été contactés. L'étude leur a été présentée et leur accord a été obtenu pour la réalisation d'échantillonnages. Les données disponibles sur la qualité des rejets (et en particulier des rejets issus des techniques membranaires) ont été collectées et analysées pour définir au mieux le programme de la campagne. Une première campagne d'échantillonnage a été menée sur le site de Méry-sur-Oise (Annexe 18). Le concentrât et le rejet n°4 (constitué de ce qui est évacué dans l'Oise) ont été prélevés.

Puis de même, un suivi des campagnes d'analyse des usines de Gibraltar Ashkelon et Clay Lane sera réalisé. Il s'agira de :

- Gérer les relations entre les usines de traitement de l'eau, les laboratoires effectuant les analyses physico chimiques, les laboratoires qui réalisent les tests d'écotoxicité et les transporteurs qui doivent acheminer les échantillons des usines aux laboratoires.
- Veiller au bon déroulement des prélèvements selon les normes et au bon conditionnement des échantillons.

Il s'agira ensuite d'analyser tous les résultats des analyses physico chimiques et des tests d'écotoxicité en fonction de la filière utilisée et des produits ajoutés lors du traitement et de conclure sur l'écotoxicité potentielle.

6 Conclusion et perspectives

Cette première étape de l'évaluation du risque écotoxicologique et toxicologique des rejets liquides des usines de production d'eau potable a permis de :

- Réaliser un état de l'art des connaissances sur l'impact environnemental des rejets de potabilisation et capitaliser les données disponibles.

- Identifier les principaux rejets liquides d'usine d'eau potable pouvant potentiellement avoir un impact sur l'environnement en fonction de leur qualité, de leur quantité et de leur lieu de rejet.
- Préparer la campagne d'analyse en identifiant les analyses physico chimiques et les tests d'écotoxicité qui devront être réalisés pour caractériser l'impact des rejets étudiés.
- Focaliser l'étude tout d'abord sur l'impact des rejets issus des techniques membranaires qui sont alors peu connus à ce jour et identifier les usines qui participeront à l'étude.

Ce travail préliminaire à la campagne d'analyse et d'essais s'est avéré nécessaire dans la mesure où les informations à ce jour disponibles dans la littérature et capitalisées en interne sont très peu nombreuses. Il a permis de choisir les éléments importants à étudier et il va conditionner le bon déroulement de la campagne d'analyse et l'interprétation des résultats.

La poursuite de l'étude dans les prochains mois permettra de :

- disposer de retours d'expérience complets sur les différents rejets issus des techniques membranaires, à partir des résultats de la campagne d'analyse et d'essais. Cette campagne permettra d'avoir une première idée de l'écotoxicité et de la toxicité associée à ces rejets.
- Identifier les autres rejets pertinents à étudier et à inclure dans une étude d'écotoxicité et de toxicité, à partir de l'enquête effectuée au sein des usines d'eau potable.

Bibliographie : Littérature

Boucheseiche C., Cremille E., Pelte T., Pojer, K. 2002. Bassin Rhône-Méditerranée-Corse. Guide technique n°7. Pollution toxique et écotoxicologique : notion de base. 84 p.

Bourgeois J.C., Walsh M.E., Gagnon G.A., 2003. Treatment of drinking water residuals : comparing sedimentation and dissolved air flotation performance with optimal cation ratios. Water research 38. 1173-1182 pp.

Carrasco R., 2003. Caractérisation et étude des impacts environnementaux des effluents de nanofiltration. Rapport d'étude. Compagnie générale des eaux. 62 p.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2005. Détermination de la toxicité : inhibition de la croissance chez l'algue *Pseudokirchneriella subcapitata*., Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec, 25 p.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2002. Détermination de la toxicité létale CL50 96h chez la truite arc-en-ciel *Oncorhynchus mykiss*. Ministère de l'Environnement du Québec, 17p.

Charissou A.M., Jourdain M.J., Pandard P., Poulsen V., Devillers J., Rérard J.F., Bispo A., 2006. Démarche optimale de sélection de batterie de bioessais pour l'évaluation écotoxicologique des milieux complexes. Synthèse bibliographique. TSM numéro 5. 101-109 pp.

Charles P., 2000. Etude de la qualité microbiologique du Leff entre Cohiniac et lanleff en vue de la production d'eau potable. Rapport de recherche Prame B. Agence de l'eau Loire Bretagne. SARIA industries. Lyonnaise des eaux. Cirsee dans Robert P et al., 2006.

Compagnie générale des eaux, 1998. Usine de traitement de Méry-sur-Oise. Rejet et traitement du concentrât de nanofiltration contenant un inhibiteur de formation de cristaux. Rapport. 25 p.

Compagnie générale des eaux, 2003. Suivi des rejets de l'usine de Méry-sur-Oise. Rapport final. 20 p.

Circulaire DCE 2005/12 relative à la définition du « bon état » et à la constitution des référentiels pour les eaux douces de surface (cours d'eau, plans d'eau), en application de la directive européenne 2000/60/DCE du 23 octobre 2000, ainsi qu'à la démarche à adopter pendant la phase transitoire (2005-2007), 17 p.

Daines C., Drouet K., 2004. Etude du rejet des concentrâts et de la biodégradabilité des séquestrants. Rapport Anjou recherche. 46 p.

Degrémont Suez., 2005. Memento technique de l'eau. Dixième édition. Livre. 1718 p.

Ducray F., Martel N., 2001. Etude des concentrâts et des eaux de nettoyage chimique issus des procédés membranaires en production d'eau potable. Rapport intermédiaire Anjou recherche. 49 p.

Einav R., Harussi K., Perry D., 2002. The footprint of the desalination processes on the environment. Desalination n°152 .141-154 pp.

Flammarion P., 2002. Ecotoxicologie aquatique : intérêts et limites des variables biologiques. Synthèse. Environnement, Risques et santé Vol 1 n°5-6. 289-298 pp.

Garric J., Vindimian E., Ferard J.F., 1993. Essais biologiques pour l'évaluation de la toxicité chronique des rejets. Agence de l'eau, 112 p.

Garric J., Bray M., Migeon B., Vollat B., Richert C., 1994. Evaluation de l'écotoxicité de rejets industriels et urbains et de la contamination du milieu récepteur. Rapport CEMAGREF. 35 p

Garric J., Bray M., Vollat B., Clement B., Devaux A., Delolme C., Durrieu C., Bedell JP., 2001. Evaluation écotoxicologique de sédiments contaminés ou de matériaux de dragage. Rapport CEMAGREF ENTPE. 49 p.

Gledhill W.E., Feijtel T., Environmental properties and safety assessment of organic phosphonates used for detergent and water treatment applications.262-269 pp.

Godet F., 1994. Evaluation de la génotoxicité des effluents. Etude comparative des tests d'Ames et micronoyaux triton. Etude inter agences n°29. 45 p.

INERIS., 1994. Etude de la toxicité aiguë d'un effluent vis-à-vis de *Daphnia magna*. Extrait de la demande d'autorisation des rejets en Oise : traitabilité des eaux de lavage des filtres- Impacts et traitabilité du rejet de nanofiltration. Rapport d'essai.21 p.

INERIS., 2003. Evaluation de l'impact des rejets de substances toxiques sur le milieu aquatique: utilisation du rapport PEC/PNEC. Action Nationale de Recherche et de Réduction des Rejets de Substances Dangereuses dans les Eaux. 3 p.

INRA, Rennes. Milieux aquatiques et pollution. Plaquette de présentation. 2004. 8 p.

IRH environnement, 2006. Prestations ecotoxicologiques. Laboratoire Central Environnement Santé. 11 p.

Jaeger Y., 2006. Fiches de spécifications techniques des produits et réactifs de traitement des eaux destinées à la consommation humaine. Draft du rapport Veolia eau. 196 p.

Kosmala A., 1998.Evaluation écotoxicologique de l'impact des effluents de stations d'épuration sur les cours d'eau : intérêt d'une approche intégrée. Université de Metz. 189 p.

Maret A., Santurette N., Cauchi A., Cleret D., 2002. Guide des traitements des sous produits des stations d'eau potable. Document technique. Générale des eaux. 111 p.

Monroux R., 2002. Usine de Méry-sur-Oise. Traitement des rejets liquides. Etude de faisabilité. Rapport Veolia eau. 29 p.

Nederlof M.M., Van Paassen J.A.M., Jong R., 2004. Nanofiltration concentrate disposal: experiences in The Netherlands. Desalination n°178 .303-312 pp.

Nowack B., 2003. Environnemental chemistry of phosphonates. Water Research 37. 2533-2546 pp.

Paschal J., 2005. Mise en place d'un outil d'évaluation environnementale des systèmes d'assainissement. Rapport de Stage Veolia Environnement. 85 p.

Porcher J.M., Delahaye C., Hervin D., Brion F., Poulsen V., 2003. Caractérisation du développement embryo-larvaire chez le poisson zèbre (*Danio rerio*) et comparaison des tests de toxicité aiguë sur les stades embryo-larvaires et adultes. Rapport technique INERIS. 18 p.

Robert P., Clement M., Randon G., Crocq. A., Seux R., 2006. Etude des facteurs influençant la rétention des protozoaires au cours des différentes étapes de production d'eau alimentaire. Echelles industrielle et pilote. TSM n°5. 39-51 pp.

Santiago S., Becker van Slooten K., Chèvre N., pardos M., Benninghoff C., Dumas M., Thybaud E., Garrivier F., 2002 . Guide pour l'utilisation des tests ecotoxicologiques avec les daphnies, les bactéries luminescentes et les algues vertes, appliqués aux échantillons de l'environnement. Groupe de travail Test écotoxicologique de la commission internationale pour la protection des eaux du Léman. Rapport de l'Institut Forel Université de Genève. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. 55 p.

Séché environnement.2005. Les activités du groupe : Impacts sur la biodiversité et la santé Outils d'analyse et perspectives. Cahier : Les carrefours scientifiques et éthiques de séché environnement. 16 p.

SGS Multilab. 2006. Proposition de devis et description des tests. 17 p.

Squire D.,2000. Reverse osmosis concentrate disposal in the UK. Proceeding of the conference on membranes in drinking and industrial water production, volume 2,79-86 pp.

Vince F., 2006. Caractérisation des eaux résiduaires issues de la production d'eau potable. Rapport intermédiaire. Anjou recherche. 26p.

Zoll Moreux C., Génotoxicité : un choix entre le test pleurodèle (Jaylet) et le test xénope. Etude inter agences. 22 p.

Fiches produits de la base de données canal'O de la banlieue de Paris

Bibliographie : Sites internet

<http://chimie.ineris.fr/fr/index.php> Portail des substances chimiques INERIS

<http://www.inchem.org/documents> OMS IPCS

<http://www.epa.gov/iris> Site de l'US EPA

<http://www.inrs.fr/fichetox/index.html> Fiches INRS

http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/Physique/Bidon/DechetTP/FDS/Sommaire_FDS.htm Site internet de l'université de Nancy-Metz.

Liste des annexes

Annexe 1: Norme applicable aux eaux de baignade par la directive 2006/7/CE

Annexe 2: Concentrations seuils autorisées par la directive 75-440 pour les eaux superficielles destinées à la production d'eau potable et par la circulaire DCE 2005/12 pour le bon état écologique des cours d'eau.

Annexe 3: Seuils fixés dans les rejets émis par les ICPE de toute nature dans l'arrêté du 02/02/98

Annexe 4: Substances prioritaires : valeurs seuils provisoire à respecter dans les cours d'eau et les plans d'eau dans la DCE 2005/12

Annexe 5: Limites de qualité des eaux douces superficielles utilisées ou destinées à être utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine (directive 75-440)

Annexe 6: Liste des produits utilisés pour le traitement de l'eau potable [Jaeger Y., 2006]

Annexe 7 : Ecotoxicité aquatique des produits les plus utilisés dans les filières de potabilisation de l'eau [sites internet de l'INERIS, l'OMS, l'USEPA, l'INRS et de l'université de Nancy-Metz]

Annexe 8: Ecotoxicité aquatique et devenir de produits utilisés pour la nanofiltration [sites internet de l'INERIS, l'OMS, l'USEPA, l'INRS et de l'université de Nancy-Metz]

Annexe 9: Sous produits et éléments présents dans l'eau brute pouvant induire une écotoxicité [sites internet de l'INERIS, l'OMS, l'USEPA, l'INRS et de l'université de Nancy-Metz]

Annexe 10: Test d'écotoxicité aquatique des phosphonates [Nowack., 2003]

Annexe 11: Questionnaire type envoyé aux usines de production d'eau potable

Annexe 12: Qualité, quantité et gestion des différents rejets générés par les usines de potabilisation

Annexe 13 : Essais de toxicité aiguë

Annexe 14: Essais d'écotoxicité chronique

Annexe 15: Essais de génotoxicité

Annexe 16: Liste des éléments pris en compte dans l'analyse physico-chimique des rejets

Annexe 17: Filière de traitement et rejets générés à Méry-sur-Oise

Annexe 18: Campagne d'analyse sur l'usine de Méry-sur-Oise et rejets étudiés

Annexe 19: Impact des rejets de nanofiltration de l'usine de Méry-sur-Oise

Annexe 20: L'usine de Gibraltar

Annexes

Annexe 1: Norme applicable aux eaux de baignade par la directive 2006/7/CE

Paramètre	Eaux intérieures			Eaux côtières et de transition		
	Excellente qualité	Bonne qualité	Qualité suffisante	Excellente qualité	Bonne qualité	Qualité suffisante
Entérocoque intestinaux (UFC/100 ml)	200	400	330	100	200	185
Escherichia coli (UFC/100ml)	500	1000	900	250	500	500

Il existe quatre classes de qualité des eaux de baignade : insuffisante, suffisante, bonne et excellente. La baignade est interdite ou déconseillée dans les eaux de qualité insuffisante.

Annexe 2: Concentrations seuils autorisées par la directive 75-440 pour les eaux superficielles destinées à la production d'eau potable et par la circulaire DCE 2005/12 pour le bon état écologique des cours d'eau.

Paramètre	Seuils fixés par la directive 75-440 (mg/l)			Circulaire DCE 2005/12 (mg/l)
	A1	A2	A3	
pH	6.5-8.5	5.5-9	5.5-9	6.5-9
DBO5				3-6
DCO				20-30
MES				25-50
Carbone organique				5-7
Azote total	1	2	3	
NH ₄ ⁺	0.05	1.5	4	0.1-0.5
NO ₂ ⁻				0.1-0.3
NO ₃ ⁻	50	50	50	10-50
Phosphore total				0.05-0.2
Hydrocarbures	50	200	1000	
Baryum	0.1	1.1		
Bore	1	1	1	
Fer	300	2000	1000	
Manganèse	50	100	1000	
Mercuré	1	1	1	
Chlorures	200	200	200	
Chrome	50	50	50	
Cuivre	50	50	100	
Pesticides	10	25	50	
Plomb	50	50	50	
Sélénium	10	10	10	
Sulfates	250	250	250	
Zinc	3000	5000	5000	
Cyanures	50	50	50	
Oxygène dissous				8-6
Taux de saturation en O ₂ dissous (%)				90-70

Directive 75-440 : Groupe de classement selon les traitements :

- La catégorie A1 requiert un traitement physique simple et une désinfection
- La catégorie A2 requiert un traitement physique et chimique et une désinfection.
- La catégorie A3 requiert un traitement physique et chimique poussé, un affinage et une désinfection.

Circulaire DCE 2005/12 : Plusieurs valeurs limites restent à préciser, elles le seront suite à l'inventaire exceptionnel de 2005 et le suivi des molécules pertinentes par bassin ou sous bassin.

Annexe 3: Seuils fixés dans les rejets émis par les ICPE de toute nature dans l'arrêté du 02/02/98

Paramètre	Flux journalier (kg/j) Arrêté 02/02/98
DBO5	100
DCO	300
MES	100
Azote total	50
Phosphore total	15
Hydrocarbures	10
Charbon actif (A.O.X)	2
Aluminium	5
Etain	4
Fer	5
Fluor	10
Manganèse	2
Chrome	1
Cuivre	1
Nickel	1
Plomb	4
Zinc	4
Cyanures	0.2
Arsenic	0.2
Indice phénol	0.5

Annexe 4: Substances prioritaires : valeurs seuils provisoire à respecter dans les cours d'eau et les plans d'eau dans la DCE 2005/12

Les 33 substances de l'annexe X et les 8 substances de l'annexe IX de la DCE.

	Substance	N° CAS	Code SANDRE	Origine du seuil	Valeur-seuil Eau (ug/l) *	Koc	Valeur-seuil sur sédiments (ug/kg) **
1	ALACHLORE	15972-60-8	1101	NP	0,3		/
2 et I-3	ANTHRACENE	120-12-7	1458	A	0,1	15800	34
3	ATRAZINE	1912-24-9	1107	NP	0,6		/
4 et I-7	BENZENE	71-43-2	1114	A	1,7		/
5	PENTABROMODIPHÉNYLÉTHÉRE	32534-81-9	1921	NP	0,0005	556801	6
	OCTA-BROMODIPHÉNYLÉTHÉRE	32536-52-0				1363040	/
	DECA-BROMODIPHÉNYLÉTHÉRE	1163-19-5				1590000	/
6 et I-12	CADMIUM	7440-43-9	1388	A	5		Bruit de fond
7	C10-13 CHLOROALCANES	85535-84-8	1955	NP	0,4	199526	1750
8	CHLORFENVINPHOS	470-90-6	1464	NP	0,06	479	0,7
9	CHLORPYRIFOS	2921-88-2	1083	NP	0,03	5012	3
10 et I-59	1,2 DICHLOROÉTHANE	107-06-2	1161	A	10		/
11	DICHLOROMÉTHANE	75-09-2	1168	NP	20		/
12	DI (2-ÉTHYLHEXYL)PHTHALATE (DEHP)	117-81-7	1461	NP	1,3	165000	4720
13	DIURON	330-54-1	1177	NP	0,2		/
14	ENDOSULFAN	115-29-7	1743	NP	0,005	6770	0,7
15	FLUORANTHÈNE	206-44-0	1191	NP	0,09	41700	83
16 et I-83	HEXACHLOROBENZÈNE	118-74-1	1199	A	0,03	130000	85
17 et I-84	HEXACHLOROBUTADIÈNE	87-68-3	1652	A	0,1	32360	71
18 et I-85	HEXACHLOROCYCLOHEXANE alpha, beta, delta (chaque isomère)	608-73-1	1200/ 1201/ 1202	A	0,1	3800	8
		LINDANE	58-89-9	1203	A	0,1	5460
19	ISOPROTURON	34123-59-6	1208	NP	0,3		/
20	PLOMB	7439-92-1	1382	NP	Bruit de fond + 0,4		Bruit de fond
21 et I-92	MERCURE	7439-97-6	1387	A	1		Bruit de fond
22 et I-96	NAPHTALÈNE	91-20-3	1517	NP	2,4	871	48
23	NICKEL	7440-02-0	1386		Bruit de fond + 1,7		Bruit de fond
24	NONYLPHENOL 4-para-nonylphénol	25154-52-3	1957	NP	0,3	5360	35
		104-40-5	1959		0,3	5360	35
25	OCTYLPHENOL para-ter-octylphénol	1806-26-4	1920	NP	0,06	18400	24
		140-66-9	1959		0,06	18400	24
26	PENTACHLOROBENZÈNE	608-93-5	1888	NP	0,003	40000	3
27 et I-102	PENTACHLOROPHENOL	87-86-5	1235	A	2	3800	170
28 et I-99	HAP BENZO (a)PYRENE BENZO (b)FLUORANTHÈNE BENZO(g, h, i)PERYLENE BENZO(k)FLUORANTHÈNE INDENO(1,2,3-cd)PYRENE	50-32-8	1115	A	0,05	692000	7600
		205-99-2	1116	A	0,05	156000	170
		191-24-2	1118	NP	0,016	406000	140
		207-08-9	1117	NP	0,03	22000	14
		193-39-5	1204	NP	0,016	1600000	560
29	SIMAZINE	122-34-9	1263	NP	0,7		/
30	TRIBUTYLETAIN tributylétain-cation	688-73-3	1820	NP	0,0001	3750	0,01
		36643-28-4					
31 et I-117	TRICHLOROBENZÈNE	12002-48-1	1630	A	0,4	1400	13
31 et I-118	1,2,4-TRICHLOROBENZÈNE	120-82-1	1283	A	0,4	1430	13
32 et I-23	TRICHLOROMÉTHANE (chloroforme)	67-66-3	1135	A	12		/
33	TRIFLURALINE	1582-09-8	1289	NP	0,03	8500	6
I-1	ALDRINE	309-00-2	1103	A	0,01	48500	10
I-13	TETRACHLORURE DE CARBONE	56-23-5	1276	A	12		/
I-46	TOTAL DDT PARA-PARA DDT	50-29-3	1144	A	25	152000	83600
					10	152000	33400
I-71	DIELDRINE	60-57-1	1173	A	0,01	14125	3
I-77	ENDRINE	72-20-8	1181	A	0,005	11420	1
I-111	PERCHLOROÉTHYLENE (tétrachloroéthylène)	127-18-4	1272	A	10		/
I-121	TRICHLOROÉTHYLENE	79-01-6	1977	A	10		/
I-130	ISODRINE	465-73-6	1207	A	0,005	105682	11

/: absence de valeur. *: concentration totale dans les eaux. **: La valeur seuil dans les sédiments est calculée à partir de la valeur seuil dans l'eau selon : [VSeu] = [VSeau] x (0.696 + 0.022 Koc) ; les chiffres ont été arrondis. Koc : coefficient de partage avec le carbone organique du sol. En grisé : support le plus pertinent pour certaines molécules. A : valeurs de l'arrêté du 20 avril 2005. NP : valeurs du « non paper » de juin 2004 élaboré par la Commission européenne. I-xxxx : substances de la liste I de la directive 76/464/CE. N° CAS : Chemical Abstract Services.

Annexe 5: Limites de qualité des eaux douces superficielles utilisées ou destinées à être utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine (directive 75-440)

GROUPE de paramètres	PARAMÈTRES	A1		A2		A3	
		G	I	G	I	G	I
Paramètres organoleptiques.	Coloration (après filtration simple) mg/l (échelle Pt).....	10	20	50	100	50	200
	Odeur (facteur de dilution à 25°C).....	3		10		20	
Paramètres physico-chimiques liés à la structure naturelle des eaux.	Conductivité $\mu\text{S/cm}$ à 20°C.....	1 000		1 000		1 000	
	Température (°C).....	22	25	22	25	22	25
	pH (unités pH).....	6,5-8,5		5,5-9		5,5-9	
	Chlorures (mg/l Cl).....	200		200		200	
	Sulfates (mg/l SO ₄).....	150	250	150	250	150	250
	Matières en suspension (mg/l).....	25					
	Demande biochimique en oxygène (DBO ₅) à 20 °C sans nitrification (mg/l O ₂).....	< 3		< 5		< 7	
	Demande chimique en oxygène (DCO) (mg/l O ₂).....					30	
	Taux de saturation en oxygène dissous (% O ₂).....	> 70		> 50		> 30	
	Paramètres concernant les substances indésirables.	Nitrates (mg/l NO ₃).....	25	50		50	
Ammoniaque (mg/l NH ₄).....		0,05		1	1,5	2	4
Azote Kjeldhal [(NO ₃ excepté)(mg/l N)].....		1		2		3	
Hydrocarbures dissous ou émulsionnés après extraction par éther de pétrole (mg/l).....			0,05		0,2	0,5	1
Phénols (indice phénol) para-nitraniline 4-aminoantipyrine (mg/l C ₆ H ₅ OH).....			0,001	0,001	0,005	0,01	0,1
Agents de surface réagissant au bleu de méthylène (mg/l lauryl-sulfate).....		0,2		0,2		0,5	
Substances extractibles au chloroforme (mg/l).....		0,1		0,2		0,5	
Fer dissous (mg/l Fe).....		0,1	0,3	1	2	1	
Manganèse (mg/l Mn).....		0,05		0,1		1	
Cuivre (mg/l Cu).....		0,02	0,05	0,05		1	
Zinc (mg/l Zn).....		0,5	3	1	5	1	5
Phosphore (mg/l P ₂ O ₅).....		0,4		0,7		0,7	
Fluor (mg/l F).....		0,7-1	1,5	0,7-1,7		0,7-1,7	
Bore (mg/l B).....		1		1		1	
Baryum (mg/l Ba).....			0,7		1		1
Paramètres concernant les substances toxiques.	Arsenic ($\mu\text{g/l As}$).....		10		50	50	100
	Cadmium ($\mu\text{g/l Cd}$).....	1	5	1	5	1	5
	Cyanures ($\mu\text{g/l CN}$).....		50		50		50
	Chrome total ($\mu\text{g/l Cr}$).....		50		50		50
	Plomb ($\mu\text{g/l Pb}$).....		10		50		50
	Mercure ($\mu\text{g/l Hg}$).....	0,5	1	0,5	1	0,5	1
	Sélénium ($\mu\text{g/l Se}$).....		10		10		10
	Hydrocarbures polycycliques aromatiques Total 6 substances ($\mu\text{g/l}$) précisées en annexe 13-3.....		0,2		0,2		1
Pesticides.	Total.....		0,5 (2)		0,5 (2)		5
	Par substances individualisées.....		0,1 (1,2)		0,1 (1,2)		2
Paramètres micro-biologiques.	Coliformes totaux 37° C (100 ml).....	50		5 000		50 000	
	<i>Escherichia coli</i> (100 ml).....	20		2 000		20 000	
	Entérocoques (100 ml).....	20		1 000		10 000	
	Salmonelles.....	Absent dans 5 000 ml		Absent dans 1 000 ml			

Annexe 6: Liste des produits utilisés pour le traitement de l'eau potable [Jaeger Y., 2006]

Procédé	Produits chimiques utilisés
Adoucissement	Chlorure de sodium
Adsorbant	Alumine activée en grain
Agent réducteur	<u>Bisulfite de sodium</u>
Algicide	Sulfate de cuivre
Coagulation	<u>Chlorure ferrique</u> Sulfate de fer II Sulfate de fer III Aluminate de sodium Chlorosulfate basique d'aluminium (Aqualenc par ex.) Chlorure et hydroxychlorure d'aluminium et de fer III Chlorure d'aluminium Hydroxychlorure d'aluminium <u>Polyhydroxychlorosulfate basique d'aluminium ou WAC HB</u> Polyhydroxychlorosilicate d'aluminium <u>Polyhydroxychlorure d'aluminium ou PAC</u> Polyhydroxychlorosilicatesulfate d'aluminium ou PASS <u>Sulfate d'aluminium</u> et de fer III Sulfate d'aluminium liquide Poly(chlorure de diméthylallylammonium) Polyamines
Correction du pH	<u>Acide chlorhydrique</u>
Décarbonatation	<u>Carbonate de sodium</u> Chaux vive ou oxyde de calcium Chaux éteinte ou <u>hydroxyde de calcium</u> <u>Hydroxyde de sodium</u>
Déchloration	Thiosulfate de sodium Bisulfite de sodium
Dénitrification	Acide phosphorique Acide acétique Ethanol
Déshydratant	Alumine activée en grain
Désinfection	Oxygène Chlorite de sodium Hypochlorite de calcium <u>Hypochlorite de sodium</u> ou javel Permanganate de potassium Peroxyde d'hydrogène
Désoxygénation	Disulfite de sodium
Elimination des agents oxydants	Dioxyde de soufre
Filtration anthracite	Anthracite
Filtration en bicouche	Pierre Ponce
Filtration CAG	<u>Charbon actif en poudre</u>
Filtration	Dioxyde de manganèse en grain <u>Sable siliceux</u>
Floculation	Aluminate de sodium Polyhydroxychlorosulfate basique d'aluminium ou WAC HB Alignate de sodium Aluminosilicate expansé Amidon modifié Microsable Poly(chlorure de diméthylallylammonium)

	Polyacrylamide anionique et non ionique Polyacrylamide cationique Polyamines Bentonite (argile) <u>Carbonate de sodium</u> Chaux vive ou oxyde de calcium Chaux éteinte ou <u>hydroxyde de calcium</u> Silicate de sodium
Fluoration	Acide hexafluorosilicique Fluorure de sodium
Formation de chloramines	Hydroxyde d'ammonium Chlorure d'aluminium Sulfate d'aluminium
Formation de monochloramines	Amoniaque liquéfié
Inhibiteur de corrosion	Acide phosphorique Bis-dihydrogéné phosphate de calcium Dihydrogéné phosphate de potassium Dihydrogéné phosphate de sodium Dihydrogéné phosphate de calcium Hydrogéné phosphate de potassium Hydrogéné phosphate de sodium <u>Orthophosphates</u> Phosphate tripotassique Phosphate trisodique Polyphosphate de sodium Polyphosphate de sodium et de calcium Tripolyphosphate de sodium
Inhibiteur de tartre	Dihydrogénopyrophosphate de sodium Pyrophosphate tétrapotassique Pyrophosphate tétrasodique Tripolyphosphate de potassium
Neutralisation	<u>Acide chlorhydrique</u> <u>Acide sulfurique</u> Carbonate de calcium <u>Carbonate de sodium</u> Chaux vive ou oxyde de calcium Chaux éteinte ou <u>hydroxyde de calcium</u> <u>Hydroxyde de sodium</u>
Nitrification	Acide phosphorique
Oxydant	Dioxyde de <u>chlore</u> <u>Ozone</u>
Oxydation	Permanganate de potassium Peroxyde d'hydrogène
Préoxydation	<u>Chlore</u>
Réducteur	Sulfite de sodium
Régénération	<u>Acide chlorhydrique</u>
Régénérer échangeur d'ions	<u>Acide sulfurique</u>
Réglage du pH	Dolomie semi-calcinée
Reminéralisation	Chaux éteinte ou <u>hydroxyde de calcium</u>
	<u>Dioxyde de carbone</u>
	Hexafluorosilicate de sodium

Les produits soulignés sont les plus utilisés

Annexe 7 : Ecotoxicité aquatique des produits les plus utilisés dans les filières de potabilisation de l'eau [sites internet de l'INERIS, l'OMS, l'USEPA, l'INRS et de l'université de Nancy-Metz]

Produit chimique	Ecotoxicité aquatique	Remarques
<u>Acide chlorhydrique</u> HCl N° CAS : 7647-01-0	Effet toxique pour les poissons et le plancton. L'acide chlorhydrique est létal pour les poissons à partir de 25 mg/l. Entrave la croissance des plantes. Toxicité aigue : - <u>Daphnies</u> : CL 50-24h: 71 mg/l - <u>Brachydanio rerio</u> : CL 50-24 h: 123 mg/l - <u>Leuciscus idus</u> : CL 50: 862 mg/l Toxicité chronique : - <u>Scenedesmus subspicatus</u> : CI 50-5 jours: 8.5 mg/l	<u>Fonction dans le traitement de l'eau</u> : Correction du pH, neutralisation de l'alcalinité, production de bioxyde de chlore, régénération des résines échangeuses d'ions. <u>Dégradabilité</u> : stable <u>Biodégradabilité</u> : stable <u>Traitabilité</u> : physico-chimique <u>Bioaccumulation</u> : non <u>Taux de traitement</u> : 5 à 20 mg/l
<u>Acide sulfurique</u> H ₂ SO ₄ N° CAS : 7664-93-9	Toxicité aigue : - <u>Daphnies</u> : CI 50-24h: 29 mg/l - <u>Brachydanio rerio</u> : CL 50-24h: 82 mg/l - <u>Lepomis macrochirus</u> : CL 50: 16 mg/l Devenir dans l'eau : Totalemment miscible avec l'eau, on le retrouve sous forme de sulfates.	<u>Fonction dans le traitement de l'eau</u> : neutralisation, réglage du pH <u>Fonction principale</u> : acide <u>Bioaccumulation</u> : non <u>Taux de traitement</u> : 10 à 50 mg/l
<u>Bisulfite de sodium</u> NaHSO ₃ N° CAS : 7631-90-5	Toxicité aigue : - <u>Poisson</u> 96h CL50 : 100 mg/l Devenir dans l'eau : il peut former des SO ₄ ²⁻ et des Na	<u>Fonction dans le traitement de l'eau</u> : agent réducteur. Il permet de neutraliser le chlore résiduel. <u>Biodégradabilité</u> : non <u>Bioaccumulation</u> : non <u>Taux de traitement</u> : 2 à 5 mg/l
<u>Carbonate de sodium</u> Na ₂ CO ₃ N° CAS : 497-19-8	Toxicité aigue - <u>Algues</u> : CE50-5 jours: 242 mg/l - <u>Daphnie</u> : CE50-48h: 265 mg/l - <u>Poissons</u> : CL50-96 h: 300 mg/l, Devenir dans le rejet : Il est soluble, on le retrouve dans l'eau traitée	<u>Fonction dans le traitement de l'eau</u> : décarbonatation <u>Etat physique</u> : poudre ou poussière <u>Dégradabilité</u> : soluble <u>Taux de traitement</u> : 5 à 50 mg/l
<u>Chlore</u> Cl ₂ N° CAS : 7782-50-5	Toxicité aigue - <u>Daphnie</u> : CE50-48 h: 0,085mg/l - <u>Poissons</u> : CL50-96 h: 0,44 mg/l, Devenir dans l'eau : il n'est pas présent dans le rejet car il est ajouté en faible quantité et s'évapore. On retrouve des sous produits du chlore dans l'eau.	<u>Fonction dans le traitement de l'eau</u> : oxydant <u>Solubilité de la préparation dans l'eau</u> : insoluble <u>Taux de traitement</u> : 0.2 à 2 mg/l
<u>Chlorure ferrique</u> FeCl ₃ N° CAS : 10025-77-1	Toxicité sur les poissons : Les composés du fer soluble en général sont toxiques à partir de 0,9 mg/l à pH 6,5 - 7,5 et létaux à partir de 1 mg/l à pH 5,5 - 6,7 Devenir dans l'eau : le fer est retrouvé dans les boues.	<u>Fonction dans le traitement de l'eau</u> : Coagulation <u>Dégradabilité</u> : instable <u>Biodégradabilité</u> : stable <u>Traitabilité</u> : physico chimique <u>Bioaccumulation</u> : non <u>Taux de traitement</u> : 5 à 150 mg/l

<u>Dioxyde de carbone</u> CO_2 N° CAS : 124-38-9	Devenir dans l'eau : c'est complètement soluble et les quantités ajoutées sont très faibles.	Fonction dans le traitement de l'eau : acidifiant en tête de traitement ou reminéralisation finale. Taux de traitement : 5 à 100 mg/l
<u>Hydroxyde de calcium</u> $\text{Ca}(\text{OH})_2$ N° CAS : 1305-62-0	Toxicité aigue : - <u>Gambusia affinis</u> : CL 50-96h: 160 mg/l - <u>Organismes aquatiques</u> : CL 50-96h: 10 - 1000 mg/l	Fonction dans le traitement de l'eau : décarbonatation, floculation, neutralisation, reminéralisation Taux de traitement : 5 30 mg/l
<u>Hydroxyde de sodium</u> N° CAS : 1310-73-2	Toxicité aigue : - <u>Daphnies</u> : CL 50-24h: 150 mg/l - <u>Brachydanio rerio</u> : CL 50-24h: 81,5 mg/l - <u>Organismes aquatiques</u> : CL 50-96h : 10-100 mg/l Devenir dans l'eau : Soluble et utilisé à faible dose	Fonction dans le traitement de l'eau : Neutralisation Dégradabilité : stable Biodégradabilité : stable Traitabilité : physico-chimique Bioaccumulation : non Taux de traitement : 2 à 20 mg/l
<u>Orthophosphates</u> H_2PO_4 N° CAS : 7779-90-0	Devenir dans l'eau : Il est présent dans l'eau traitée et a une action filmogène dans les conduites, il permet de diminuer la concentration en plomb.	Fonction dans le traitement de l'eau : inhibiteur de corrosion Taux de traitement : 0.2 à 2 mg/l
<u>Ozone</u> O_3 N° CAS : 10028-15-6	Devenir dans l'eau : Cela peut être dangereux quand c'est concentré mais dans l'eau le résiduel se dissipe assez vite.	Fonction dans le traitement de l'eau : oxydant Dégradabilité : dans l'eau , l'ozone réagit avec la matière organique et les molécules d'eau Biodégradabilité : pas de données Bioaccumulation : non Taux de traitement : 0.4 à 2 mg/l
<u>Polyhydroxychlorosulfate basique d'aluminium ou WAC HB</u> $\text{Al}(\text{OH})_x\text{Cl}_x(\text{SO}_4)_x$	Toxicité aigue : - <u>Daphnies</u> : CL/CE 50-48 h: >100 mg/l Devenir dans l'eau : Les sels d'aluminium sont en grande partie présents dans les boues. Cependant il est possible d'en retrouver une petite partie qui persiste dans les rejets soit sous forme colloïdale ($\text{Al}(\text{OH})_3$), soit soluble ($\text{Al}(\text{OH})_2^+$ et $\text{Al}(\text{OH})_4^-$) ² et sous forme de sulfate et de chlore.	Fonction dans le traitement de l'eau : neutraliser les charges des particules colloïdales afin de les stabiliser et de les précipiter. Solubilité : soluble avec floculation de l'hydroxyde Taux de traitement : 5 à 150 mg/l
<u>Polyhydroxychlorure d'aluminium ou PAC</u> $\text{Al}(\text{OH})_x\text{Cl}_x$	Devenir dans l'eau : Les sels d'aluminium sont en grande partie présents dans les boues. Cependant il est possible d'en retrouver une petite partie qui persiste dans les rejets soit sous forme colloïdale ($\text{Al}(\text{OH})_3$), soit soluble ($\text{Al}(\text{OH})_2^+$ et $\text{Al}(\text{OH})_4^-$) ² .	Fonction dans le traitement de l'eau : coagulation Taux de traitement : 5 à 150 mg/l

<u>Sulfate d'aluminium</u> $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ N° CAS :7784-31-8	<u>Daphnies</u> : CL 50-24h: 136 mg/l <u>Algues</u> : CL 50-24h :1,5 mg/l. Devenir dans l'eau : Il se dissout dans l'eau traitée.	<u>Fonction dans le traitement de l'eau</u> : coagulation <u>Taux de traitement</u> : 5 à 100 mg/l
---	--	---

Annexe 8: Ecotoxicité aquatique et devenir de produits utilisés pour la nanofiltration [sites internet de l'INERIS, l'OMS, l'USEPA, l'INRS et de l'université de Nancy-Metz]

Produit chimique	Ecotoxicité aquatique	Remarques
<u>Acide citrique</u> $C_6H_8O_7$ N° CAS 77-92-9	Toxicité aiguë : - <u>Algues</u> : CL/CE 50: 640 mg/l - <u>Invertébrés</u> : CL/CE 50: 160 mg/l - <u>Poissons</u> : CL/CE 50: 440 mg/l PNEC chronique : 160 µg/L Devenir dans l'eau : il forme des complexes avec les différents anions	<u>Fonction dans le traitement de l'eau</u> : détergent pour la régénération des membranes de nanofiltration
<u>Acide maléique</u> $C_4H_4O_4$ N° CAS 110-16-7	Toxicité aiguë : - <u>Invertébrés</u> : CL/CE 50: 330 mg/l - <u>Poissons</u> : CL/CE 50: 75 mg/l Toxicité chronique : - <u>Algues</u> : NOEC: 130 mg/l	<u>Fonction dans le traitement de l'eau</u> : Séquestrant (polycarboxylate). <u>Biodégradabilité</u> : non
<u>Acide métacrylique</u> $C_4H_6O_2$ N° CAS 79-41-4	Toxicité aiguë : - <u>Algues</u> : CL/CE 50: 20 mg/l - <u>Invertébrés</u> : CL/CE 50: 100 mg/l - <u>Poissons</u> : CL/CE 50: 85 mg/l Toxicité chronique : - <u>Algues</u> : NOEC : 8,2 mg/l - <u>Invertébrés</u> : NOEC: 53 mg/l PNEC chronique : 164 µg/L	<u>Fonction dans le traitement de l'eau</u> : Séquestrant (polycarboxylate). <u>Biodégradabilité</u> : pas facilement biodégradable
<u>Acide phosphorique</u> H_3PO_4 N°CAS :7664-38-2	Le produit non neutralisé peut être dangereux pour les organismes aquatiques	<u>Fonction dans le traitement de l'eau</u> : nitrification, dénitrification, anti corrosif <u>Solubilité dans l'eau</u> : miscible <u>Biodégradabilité</u> : oui
<u>ATMP</u> N° CAS 2235-43-0	Toxicité aiguë : - <u>Algues</u> : CL/CE 50: 12 mg/l - <u>Algues</u> : CL/CE 50: 80 mg/l (eau salée) - <u>Invertébrés</u> : CL/CE 50: 94 mg/l (eau salée) - <u>Poissons</u> : CL/CE 50: 250 mg/l Toxicité chronique : - <u>Algues</u> : NOEC : 20 mg/l - <u>Invertébrés</u> : NOEC : 25 mg/l - <u>Poissons</u> : NOEC : 23 mg/l	<u>Fonction dans le traitement de l'eau</u> : Séquestrant (phosphonate) <u>Biodégradabilité</u> : pas facilement biodégradable. <u>Bioaccumulation</u> : oui

<p><u>HEDP</u> N° CAS 2809-21-4</p>	<p>Toxicité aigue : - <u>Algues</u> : CL/CE 50: 3 mg/l - <u>Invertébrés</u> : CL/CE 50:167 mg/ - <u>Invertébrés</u> : CL/CE 50: 81 mg/l (eau salée) - <u>Poissons</u> : CL/CE 50: 180 mg/l</p> <p>Toxicité chronique : - <u>Algues</u> : NOEC : 13 mg/l - <u>Invertébrés</u> : NOEC : 6,72 mg/l - <u>Invertébrés</u> : NOEC : 52 mg/l (eau salée) - <u>Poissons</u> : NOEC : 180 mg/l</p> <p>Devenir dans l'eau: acide phosphorique et orthophosphates. Ils peuvent se précipiter en se complexant avec l'Al³⁺, le fer, les SO₄Fe</p>	<p><u>Fonction dans le traitement de l'eau</u> : Séquestrant (phosphonate) <u>Biodégradabilité</u> : pas facilement biodégradable. <u>Bioaccumulation</u> : oui</p>
<p><u>Hypersperse AF200</u> N° CAS : 29329-71-3</p>	<p>Ecotoxicité Non disponible</p> <p>Ce produit n'est pas classé comme dangereux pour l'environnement</p> <p>Devenir dans l'eau: on le retrouve sous forme d'acide acrylique, acide phosphorique et orthophosphate.</p>	<p><u>Fonction dans le traitement de l'eau</u> : Séquestrant <u>Dégradabilité</u> : non disponible <u>Taux de traitement</u> :</p>
<p><u>Hypochlorite de sodium</u> N° CAS : 7681-52-9</p>	<p>Toxicité aigue : - <u>Daphnies</u> : CL/CE 50-48 h 0,07 à 0,7 mg/l - <u>Poissons</u> : CL/CE 50-96h :0,23 à 5,9 mg/l</p> <p>Devenir dans l'eau : Produits de dégradation dans l'eau dangereux tel le Chlore, l'acide hypochloreux et le chlorate de sodium</p>	<p><u>Fonction dans le traitement de l'eau</u> : oxydant <u>Bioaccumulation</u> : non</p>

**Annexe 9: Sous produits et éléments présents dans l'eau brute pouvant induire une écotoxicité
[sites internet de l'INERIS, l'OMS, l'USEPA, l'INRS et de l'université de Nancy-Metz]**

Produit chimique	Ecotoxicité aquatique	Remarques
<u>Acétaldéhyde</u> C ₂ H ₄ O N° CAS: 75-07-0	Toxicité aigue : - <u>Daphnia magna</u> : CL/CE 50 :42 à 82 mg/l (eau douce) - <u>Poissons</u> : CL/CE 50 :35 à 140 mg/l Mise en évidence d'effets mutagène chez <i>E.coli</i> , <i>S.cerevisiae</i> mais absence d'effets mutagènes chez <i>Salmonella thyphidium</i> .	<u>Origine</u> : Produit de dégradation de l'ozone <u>Biodégradabilité</u> : oui <u>Concentration moyenne dans l'eau</u> ? <u>Comportement dans l'eau</u> : Soluble dans l'eau
<u>Acide acrylique</u> C ₃ H ₄ O ₂ N° CAS: 79-10-7	Toxicité aigue : - <u>Algues</u> : CL/CE 50 :0.13 mg/l (eau douce) - <u>Invertébrés</u> : CL/CE 50 :47 mg/l (eau douce) - <u>Poissons</u> : CL/CE 50 :27 mg/l (eau douce) Toxicité chronique : - <u>Algues</u> : NOEC : 0,03 mg/l (eau douce) - <u>Invertébrés</u> : NOEC : 7 mg/l (eau douce) PNEC chronique : 3 µg/L	<u>Origine</u> : Sous produit des polymères AN 905 ajouté pour aider à la coagulation et former des floccs <u>Biodégradabilité</u> : non <u>Bioaccumulation</u> : oui <u>Perturbateur endocrinien</u> : ? <u>Concentration moyenne dans l'eau</u> ?
<u>Acide maléique</u> C ₄ H ₄ O ₄ N° CAS 110-16-7	Toxicité aigue : - <u>Invertébrés</u> : CL/CE 50 :0 330 mg/l (eau douce) - <u>Poissons</u> : CL/CE 50 : 75 mg/l (eau douce) Toxicité chronique : - <u>Algues</u> : NOEC : 130mg/l (eau douce)	<u>Origine</u> : Polycarboxylates <u>Perturbateur endocrinien</u> : ?
<u>Acide métacrylique</u> C ₄ H ₆ O ₂ N° CAS 79-41-4	Toxicité aigue : - <u>Algues</u> : CL/CE 50 :20mg/l (eau douce) - <u>Invertébrés</u> : CL/CE 50 :100mg/l (eau douce) - <u>Poissons</u> : CL/CE 50 : 85mg/l (eau douce) Toxicité chronique : - <u>Algues</u> : NOEC : 8.2 mg/l (eau douce) - <u>Invertébrés</u> : NOEC : 53 mg/l (eau douce) PNEC chronique 164 µg/L	<u>Origine</u> : Polycarboxylates <u>Biodégradabilité</u> : non <u>Bioaccumulation</u> : oui <u>Perturbateur endocrinien</u> : ?
<u>Acide chloroacétique</u> CH ₂ ClCOOH N° CAS: 79-11-8	Se dégrade rapidement dans l'eau, sa demi vie est de 1 à 10 jours. Toxicité pour l'Environnement?	<u>Origine</u> : Produit de dégradation du chlore <u>Comportement dans l'eau</u> : Très soluble

<p><u>Acrylamide</u> N° CAS 79-06-1</p>	<p>Toxicité aigue : - <u>Algues</u> : CL/CE 50 :33,85 mg/l - <u>Invertébrés</u> : CL/CE 50 :98 mg/l - <u>Poissons</u> : CL/CE 50 :100 mg/l</p> <p>Toxicité chronique : - <u>Algues</u> : NOEC : 16 mg/l - <u>Invertébrés</u> : NOEC : 2,04 mg/l l - <u>Poissons</u> : NOEC : 50 mg/l</p> <p>PNEC chronique : 20 µg/L</p>	<p><u>Origine</u> : Sous produit des polymères AN 905 ajouté pour aider à la coagulation et former des floccs. <u>Concentration moyenne dans l'eau</u> : ? <u>Comportement dans l'eau</u> : Soluble</p>
<p><u>Aluminium</u> N° CAS:1344-00-9</p>	<p>Toxicité aigue : - <u>Algues</u> : CL/CE 50 : 10000 mg/l - <u>Invertébrés</u> : CL/CE 50 : 10000 mg/l - <u>Poissons</u> : CL/CE 50 : 10000 mg/l</p> <p>Toxicité chronique : - <u>Algues</u> : NOEC : 10000 mg/l</p>	<p><u>Origine</u> : produit de dégradation des coagulants, présent dans l'eau brute <u>Biodégradabilité</u> : non <u>Bioaccumulation</u> : non</p>
<p><u>Bromate</u> BrO₃⁻ CAS : 15541-45-4</p>	<p>Cancérogène pour l'homme Activité légèrement mutagène avec le test d'Ames. Non mutagène sur <i>E.coli</i>.</p>	<p><u>Origine</u> : produit de dégradation de l'ozone <u>Concentration moyenne dans l'eau</u> : 0.5 mg/l</p>
<p><u>Bromodichlorométhane</u> (THM) N° CAS : 75-27-4</p>	<p>Les effets toxiques aigus et chroniques des THM sont détectés chez l'animal pour des doses de plusieurs mg par kg de poids corporel.</p>	<p><u>Origine</u> :produit de dégradation du Chlore</p>
<p><u>Bromoforme</u> (THM) N° CAS : 75-25-2</p>	<p>Toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets à longs termes néfastes pour les organismes aquatiques. Mutagène sur <i>Salmonelle thyphidium</i></p>	<p><u>Origine</u> : produit de dégradation du Chlore</p>
<p><u>Carbonate de calcium</u> N° CAS : 497-19-8</p>	<p>Le carbonate de calcium n'est pas un produit toxique, il est utilisé comme médicament sous forme de comprimés contenant plus de 1 g chacun.</p>	<p><u>Origine</u> : boues de décarbonatation</p>
<p><u>Chloroforme</u> CHCl₃ N°CAS: 67-66-3</p>	<p>Toxicité aigue - <u>Algues</u> : CE 50-48 h : 13,3 à 560 mg/l - <u>Invertébrés</u> : CE 50-48 h : 0,385 à 79 mg/l - <u>Poissons</u> : CL50 -96 : 18 à 103 mg/l</p> <p>Toxicité chronique - <u>Algues</u> : NOEC : 185 à 1100 mg/l - <u>Invertébrés</u> : NOEC : 6,3 à 15 mg/l - <u>Poissons</u> : LOEC : 20 mg/l</p> <p>PNEC = 146 µg/L</p>	<p><u>Origine</u> : produit de dégradation du Chlore <u>Bioaccumulation</u> : oui <u>Concentration moyenne dans l'eau</u> : Douce : 0,3 ? g/L Mer : 4 ng/L <u>Comportement dans l'eau</u> : évaporation</p>

<p><u>Cuivre</u> N°CAS: 7440-50-8</p>	<p>Toxicité chronique - <u>Algues</u> : NOEC : 0,00053mg/l (eau douce) 0.00064 mg/l (eau salée) - <u>Invertébrés</u> : NOEC : 0,00005 mg/l (eau douce) 0.0005 mg/l (eau salée) - <u>Poissons</u> : NOEC 0,00067 mg/l (eau douce) 0.055 mg/l (eau salée) PNEC (Eau douce) : 1,6 µg/L PNEC (Eau marine) : 0,8 µg/L</p>	<p><u>Origine</u> : Présent dans l'eau brute <u>Biodégradabilité</u> : Non applicable : composé inorganique <u>Bioaccumulation</u> : oui <u>Perturbateur endocrinien</u> : ?</p>
<p><u>Formaldéhyde</u> CH₂O N°CAS: 50-00-0</p>	<p>Toxicité aiguë - <u>Algues</u> : CL/CE 50 : 12 mg/L (eau douce) - <u>Invertébrés</u> : CL/CE 50 : 5,8 mg/L (eau douce) - <u>Poissons</u> : CL/CE 50 :24.8 mg/L (eau douce) 6.7 mg/l (eau salée) Toxicité chronique - <u>Algues</u> : NOEC 3,6 mg/l (eau douce) PNEC : 5,8 µg/L</p>	<p><u>Origine</u> : Produit de dégradation de l'ozone <u>Biodégradabilité</u> : non <u>Bioaccumulation</u> : non <u>Perturbateur endocrinien</u> : ?</p>
<p><u>Glyoxal</u> C₂H₂O₂ N° CAS : 107-22-2</p>	<p>Toxicité aiguë - <u>Algues</u> : CL/CE 50 : 200 mg/L (eau douce) - <u>Invertébrés</u> : CL/CE 50 : 161 mg/L (eau douce) - <u>Poissons</u> : CL/CE 50 : 86 mg/L (eau douce) PNEC : 86 µg/L</p>	<p><u>Origine</u> : Produit de dégradation de l'ozone <u>Biodégradabilité</u> : oui <u>Bioaccumulation</u> ? <u>Perturbateur endocrinien</u> ?</p>
<p><u>Mercure</u> Hg N° CAS 7439-97-6</p>	<p>Toxicité aiguë - <u>Algues</u> : CL/CE 50: 0,009 mg/L (eau douce) 0.01mg/l (eau salée) - <u>Invertébrés</u> : CL/CE 50: 0,01mg/L (eau douce) 0.0035mg/l (eau salée) - <u>Poissons</u> : CL/CE 50: 0,0007mg/L (eau douce) 0.067 mg/l (eau salée) Toxicité chronique - <u>Algues</u> : NOEC : 0,0002 mg/L (eau douce) 0.0009mg/l (eau salée) - <u>Invertébrés</u> : NOEC : 0,00029mg/L (eau douce) 0.0001mg/l (eau salée) - <u>Poissons</u> : NOEC : 0,00062 mg/L (eau douce) 0.005 mg/l (eau salée) PNEC (Eau douce) :0,036 µg/L PNEC (Eau marine) :0,036 µg/L</p>	<p><u>Origine</u> : Présent dans l'eau brute <u>Biodégradabilité</u> : Non applicable : composé inorganique. <u>Bioaccumulation</u> : oui <u>Perturbateur endocrinien</u> non</p>
<p><u>Nickel</u> N° CAS 7440-02-0</p>	<p>Toxicité aiguë - <u>Algues</u> : CL/CE 50 : 45 à 121 µg/L Toxicité chronique - <u>Algues</u> : NOEC : 40 µg/L - <u>Invertébrés</u> : NOEC : 5 à 60µg/L - <u>Poissons</u> : NOEC : 38 à 400µg/L PNEC : 0.5 µg/L</p>	<p><u>Origine</u> : présent dans l'eau brute <u>Bioaccumulation</u> : oui <u>Comportement dans l'eau</u> : insoluble <u>Concentration moyenne dans l'eau</u> : - Eau douce : 10 µg/L - Eau de mer : 0.5 µg/L</p>

<u>Nitrates</u>	Peu toxiques pour la plupart des poissons toxiques pour des poissons sensibles extrêmement toxiques pour les invertébrés marins	<u>Origine</u> : présents dans l'eau brute, <u>Concentration dans l'eau</u> : <10 mg/l
<u>Phosphonates</u>	PNEC : 460 µg/L	<u>Origine</u> : Séquestrant <u>Biodégradabilité</u> : non
<u>Plomb</u> Pb N° CAS 7439-92-1	Toxicité aiguë - <u>Algues</u> : CL/CE 50: 0,5mg/L (eau douce) 0.0195mg/l (eau salée) - <u>Invertébrés</u> : CL/CE 50: 0,01mg/L (eau douce) 0.476mg/l (eau salée) - <u>Poissons</u> : CL/CE50: 0,1138mg/L (eau douce) 1.5mg/l (eau salée) Toxicité chronique - <u>Algues</u> : NOEC : 0,01mg/L (eau douce) 0.0009mg/l (eau salée) - <u>Invertébrés</u> : NOEC : 0,009mg/L (eau douce) 0.01mg/l (eau salée) - <u>Poissons</u> : NOEC : 0,0043mg/L (eau douce) PNEC : 1.6 µg/L	<u>Origine</u> : Présent dans l'eau brute <u>Dégradabilité</u> : non <u>Biodégradabilité</u> : Non applicable : composé inorganique. <u>Bioaccumulation</u> : oui
<u>Zinc</u> Zn N° CAS : 7440-66-6	Toxicité aiguë - <u>Algues</u> : CL/CE 50: 0,136 mg/L (eau douce) - <u>Invertébrés</u> : CL/CE 50: 0,032mg/L (eau douce) 0.065mg/l (eau salée) - <u>Poissons</u> : CL/CE 50: 0,066 mg/L (eau douce) 0.19 mg/l (eau salée) Toxicité chronique - <u>Algues</u> : NOEC : 0,017mg/L (eau douce) 0.01mg/l (eau salée) - <u>Invertébrés</u> : NOEC : 0,037mg/L (eau douce) 0.01mg/l (eau salée) - <u>Poissons</u> : NOEC : 0,044mg/L (eau douce) PNEC (Eau douce) : 7,8 µg/L PNEC (Eau marine) : 7,8 µg/L	<u>Origine</u> : Présent dans l'eau brute <u>Biodégradabilité</u> : Non applicable : composé inorganique <u>Bioaccumulation</u> ? <u>Perturbateur endocrinien</u> ?

Annexe 10: Test d'écotoxicité aquatique des phosphonates [Nowack., 2003]

		Valeur de toxicité (mg/l)									
		ATMP		HEDP		EDTMP		HDTMP		DTPMP	
Espèce	Test	CE	NOEC	CE	NOEC	CE	NOEC	CE	NOEC	CE	NOEC
Poissons											
Crapet arlequin	96 h CL-50	>330	330	888	529	>164	164	>273	273	768	576
Poisson-chat	96 h CL-50	1212	924	695	529	967	522	>2400	2400	657	432
Sheepshead minnow	96 h CL-50	8132	4831	2180	104	1513	605	>954<1670	954	5377	2125
Truite arc-en-ciel	96 h CL-50	>330	330	368	151	>164	164	>273	273	>180>252	180
Truite arc-en-ciel	96 h CL-50	160		200		250		440		573	
Truite arc-en-ciel	14 jours CL-50	150	47	180	60	250	35	440	74	>262	136
Truite arc-en-ciel	60 jours chronique	<47	>23							<34	>26
Invertébrés											
Chironome	40 h CE-50	11000	7040	8910	3925	7320	1956	4660	1603	9910	7589
Crevette	96 h CL-50	7870	4575	1770	104	1436	605	942	537	4849	2125
Huitre de l'est	96 h CE-50	201	95	89	<52	67	55	212	<161	156	56
Daphnia magna	48 h CE-50	297	125	527	400	510	250	574	125	242	125
Daphnia magna	28 jours chronique	<54	>25	<25	>12						
Algues											
Selenastrum (algue)	96 h CE-50	19.6	7.4	3	1.3	0.42	0.09	28	10.2	1.9	5.2
Selenastrum (algue)	96 h CE-50	19.6	7.4	39.1	13.2	27.1	9.3	27	10.2	80.7	5.2

Annexe 11: Questionnaire type envoyé aux usines de production d'eau potable

Nom de l'usine :

Adresse de l'usine :

Volume d'eau potable produit par an :

Volume d'eau brute utilisée en entrée par an :

Nature de l'eau brute (nappe, surface, saumâtre, mer) :

Veillez réaliser un synoptique de la filière de traitement (dans l'espace réservé) en indiquant pour chaque étape de la filière de traitement :

- Les produits ajoutés et leur quantité
- Le lieu de production du rejet.

Chaque rejet devra être identifié par un numéro et reporté dans un tableau (exemple ci-dessous). Les informations relatives à chaque rejet devront être renseignées à l'intérieur du tableau.

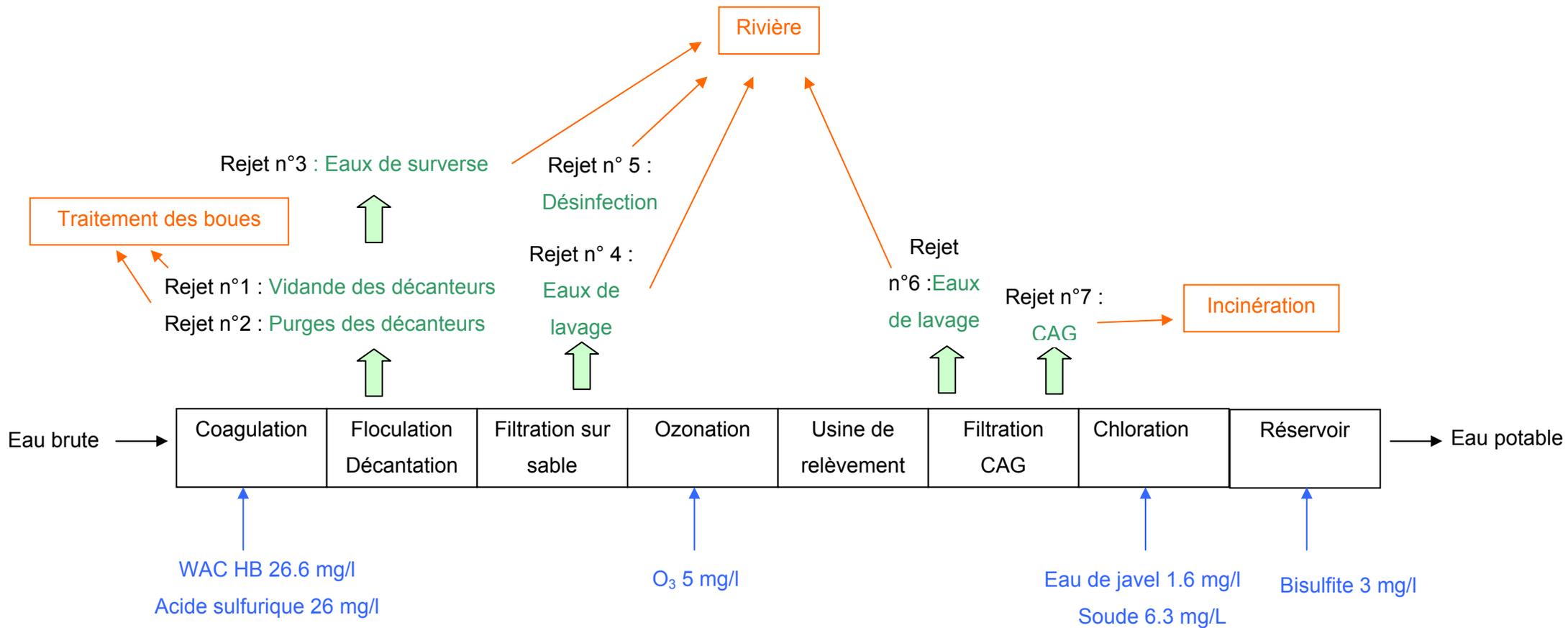
Ce document comprend :

- un exemple comprenant un synoptique et un tableau,
- un espace réservé à la réalisation du synoptique de votre usine et deux tableaux vierges
- une liste des rejets pouvant être générés par une usine d'eau potable.

	Rejet n° 1	Rejet n° X
Nature du rejet	Indiquer la nature du rejet	
Destination du rejet	- Traitement : quel type de traitement ? - Milieu naturel (rivière, mer ?) seul ou avec d'autres rejets (précisez lesquels) - Autre destination	
Volume (m ³ /an)	Le débit est-il mesuré ? - si oui indiquez-le - si non, estimez-le approximativement	
Fréquence (continue/discontinue)	Indiquer la fréquence de production du rejet	
Produits ajoutés pour le traitement de l'eau pouvant avoir un impact sur la qualité du rejet	Indiquer la nature des produits ajoutés et les quantités ajoutées	

Exemple

Synoptique de la filière de traitement :



	Rejet n° 1	Rejet n° 2	Rejet n° 3	Rejet n° 4	Rejet n°5	Rejet n° 6	Rejet n° 7
Nature du rejet	Vidange des décanteurs	Purges des décanteurs	Eaux de surverse issues du traitement des boues	Eaux de lavage des filtres à sable	Eaux de lavage chimique des filtres	Eau de lavage des filtres à CAG	CAG
Destination du rejet	Traitement des boues (rejets 1 et 2)	Traitement des boues (rejets 1 et 2)	Rivière (rejets 3, 4 , 5 et 6)	Rivière (rejets 3, 4, 5 et 6)	Rivière (après neutralisation du résiduel) (rejets 3, 4 , 5 et 6)	Rivière (rejets 3, 4 , 5 et 6)	Incinération
Volume	6 X 2000 m ³ /an	1100 m ³ /j	1000 m ³ /j	3600 m ³ /j	1000 m ³ /an	3200m ³ /j	
Fréquence (continue/discontinue)	Discontinu : 6 fois par an	Continu	Continu	Continu	Discontinu	Continu	Discontinu
Produits ajoutés pour le traitement de l'eau pouvant avoir un impact sur la qualité du rejet	WAC HB 26.6 mg/l Acide sulfurique 26 mg/l	WAC HB 26.6 mg/l Acide sulfurique 26 mg/	WAC HB 26.6 mg/l Acide sulfurique 26 mg/l	WAC HB 26.6 mg/l Acide sulfurique 26 mg/l	Eau de javel (1/5 de litre de solution à 48° par m ³ de sable) Bisulfite de sodium	WAC HB 26.6 mg/l Acide sulfurique 26 mg/l Ozone 4 mg/l	WAC HB 26.6 mg/l Acide sulfurique 26 mg/l Ozone 4 mg/l

Synoptique de la filière de traitement :

	Rejet n° 1	Rejet n° 2	Rejet n° 3	Rejet n° 4
Nature du rejet				
Destination du rejet				
Volume				
Fréquence (continue/discontinue)				
Produits ajoutés pour le traitement de l'eau pouvant avoir un impact sur la qualité du rejet				

	Rejet n° 5	Rejet n° 6	Rejet n° 7	Rejet n° 8
Nature du rejet				
Destination du rejet				
Volume				
Fréquence (continue/discontinue)				
Produits ajoutés pour le traitement de l'eau pouvant avoir un impact sur la qualité du rejet				

Liste des rejets possibles :

- Boues de décantation
- Eau de surverse (issues de la filière de traitement des boues)
- Eau de lavage des filtres (sable, anthracite, bicouche)
- Eau de nettoyage chimique des filtres
- Eau de décolmatage d'ultrafiltration
- Eau de nettoyage chimique des membranes d'ultrafiltration
- Eau de décolmatage de microfiltration
- Eau de nettoyage chimique des membranes de microfiltration
- Concentrât d'osmose inverse
- Eau de nettoyage chimique des membranes d'osmose inverse
- Concentrât de nanofiltration
- Eau de nettoyage chimique des membranes de nanofiltration
- Eluat des résines échangeuses d'ions
- Eau de nettoyage chimique des résines échangeuses d'ions
- Boues de décarbonatation
- Purges des saturateurs à chaux
- Eau de nettoyage des filtres biologiques
- Boues issues des filières de traitement biologique
- Concentrât de distillation thermique
- CAG
- Barbotine de CAP

Annexe 12: Qualité, quantité et gestion des différents rejets générés par les usines de potabilisation

Type de rejet (Continu : C ou discontinu : D)	Produits	Sous produits et composants de l'EB éliminés	Mode de gestion du rejet	Ratio/ Eau brute	% usine
Terre de décantation (C)	- Chlorure ferrique (FeCl ₃) - Sels d'aluminium WAC HB - CAP	- MES - Hydroxydes métalliques (Fe et Mn) - Matière organique - Polluants divers - Microorganismes	- Décharge de classe I - Milieu naturel - Traitement	2 à 10%	64 à 82%
Eau de surverse (C)		- Polluants divers - Microorganismes	- Milieu naturel	<< 1%	18 à 58 %
Eau de lavage des filtres (C)	- Chlorure ferrique (FeCl ₃) - Sels d'aluminium WAC HB - CAP	- Polluants divers - Microorganismes	- Milieu naturel - STEP	1 à 4%	64 à 82%
Eau de nettoyage chimique des filtres (D)	- eau de javel - bisulfite de sodium		- Milieu naturel - lagune		
Eau de décolmatage d'ultrafiltration (C)		- Azote total - MES	- Milieu naturel - STEP	<< 1%	2 à 54 %
Eau de nettoyage chimique d'ultrafiltration (C)	- Soude - Chlore - Acide citrique	- MES - Chlorures - Mercure - Azote total	- Milieu naturel - STEP	<< 1%	2 à 54 %
Eau de décolmatage de microfiltration (C)		- Azote total - Fer - MES	- Milieu naturel après lagunage ou non - STEP	1 à 20%	2 à 54 %
Eau de nettoyage chimique de microfiltration (D)	- produits à base de soude	- Azote - Fer - Mercure	- Milieu naturel après neutralisation - STEP	<< 1%	2 à 54 %
Concentrât d'osmose inverse (C)	- NaOCl - Chlore - FeCl ₃ - AlCl ₃ - H ₂ SO ₄ - HCl - SHMP (NaPO ₃) ₆ - NaHSO ₃	- Cuivre - Fer - Plomb - Nickel - Zinc - Azote - Sulfates - Chlorures - Phosphore.	- Milieu naturel - STEP	20 à 50%	2 à 54 %
Eau de nettoyage chimique des membranes d'osmose inverse (D)	- Acide citrique - Détergents	- Azote total - DCO - Fer - Mercure	- Milieu naturel après neutralisation	<< 1%	2 à 54 %

Concentrât de NF (C)	- Acide - Séquestrant	- Sulfate SO ₄ ²⁻ - Manganèse Mn ²⁺ - Calcium Ca ²⁺ - Magnésium Mg ²⁺ , - Pesticide - Précurseur de THM -Précurseur d'acide humique et fulvique - COBD - Phosphonate - Phosphore total - Chlorure - Phosphate - Fer - Sodium - Azote total - Mercure - Orthophosphates	- Milieu naturel - Egout - Recyclage - STEP	20 à 30%	2 à 54 %
Eau de nettoyage chimique des membranes de NF (D)	- Agents neutralisants		- Milieu naturel - STEP	<< 1%	2 à 54 %
Eluat des résines échangeuses d'ions (C)	- NaCl - Acide fort (H ₂ SO ₄)	- Sulfate - Nitrate - Ion bicarbonate - Chlorure - Cations métalliques (Ca, Mn)	- Milieu naturel - STEP	1%	1 à 47 %
Eau de nettoyage chimique des résines échangeuses d'ions (D)	- Soude - Acide chlorhydrique		- Milieu naturel - STEP		1 à 47 %
Boues de décarbonatation (C)	- Chaux - Soude caustique	- Carbonate de calcium - Carbonate de sodium - Hydroxydes de Fe et de Mn -Billes de carbonate	-Valorisation agricole - STEP - Décharge	<< 0.1%	
Purges des saturateurs à chaux (C)	- Chaux		- Valorisation agricole - Traitement des boues	<< 0.1%	27 à 59 %
Eau de lavage des filtres biologiques (C)		- Biomasse - Résidu bactérien	- Valorisation agricole - STEP	<< 0.1%	0 à 56 %
Concentrât de distillation thermique (C)				20 à 50 %	
CAG (D)			- Décharge - Recyclage - Incinération		24 à 58 %

Annexe 13 : Essais de toxicité aiguë

➤ Test *Artemia salina* [Paschal .J, 2005]



Figure 13: *Artemia salina*

Organisme : *Artemia salina*, petit crustacé très fréquent en milieu lagunaire.

Norme/Indice de classement : Pas de norme.

Champs d'application : Eau de mer.

Principe/ protocole : Kit commercial ARTOKIT. Détermination de la **concentration létale** nécessaire pour obtenir un taux de mortalité de 50% après une exposition de 24h au toxique (CL50-24h).

➤ Test *Brachionus calyciflorus* [Paschal .J, 2005]



Figure 14 : *Brachionus calyciflorus*

Organisme : *Brachionus calyciflorus* est un rotifère d'eau douce pluricellulaire (0.2 à 2 mm) présent dans le plancton. Les rotifères font partie des vers. Ils se déplacent grâce à des cils et peuvent se fixer par l'intermédiaire d'un pied.

Norme/Indice de classement : T90-377.

Champs d'application : Eau douce.

Principe/ protocole : Ce test repose sur la détermination de l'**inhibition de la croissance** du rotifère *Brachionus calyciflorus* en 24 ou 48 heures. Cet essai permet de calculer la concentration d'échantillon provoquant x % d'inhibition de la population (CEx).

Volume nécessaire : 200 ml

Remarques : Les formes enkystées de l'organisme utilisées sont conservables de 6 mois à 1 an ce qui évite d'avoir à les cultiver en permanence. De plus c'est un test très rapide permettant de tester les effluents instables.

- **Test *Danio rerio* adultes (anciennement *Bachydanio rerio*)** [IRH environnement, 2006], [SGS Multilab, 2006]



Figure 15: *Danio rerio* adultes

Organisme : Poisson zèbre. Teinte vives, métalliques et brillantes. Originaire d'Inde et de Malaisie. Ce poisson d'eau douce appartient à la classe des poissons osseux de la famille des cyprinidés. Les poissons utilisés pour les tests proviennent d'une même souche, de taille comprise entre 2,5 et 3 cm et sont maintenus en élevage au laboratoire plus de quinze jours sans aucune perte.

Norme : T90-303/ NF EN ISO 7346-1.

Champs d'application : Substances chimiques solubles dans l'eau ou pouvant être maintenues en suspension ou en dispersion stable dans les conditions de l'essai, aux effluents industriels et urbains, aux eaux de surface et aux eaux souterraines.

Principe : Détermination de la concentration de l'échantillon qui, en 96 heures, provoque la **mort** de 50% des poissons d'eau douce mis en présence avec l'échantillon par rapport à un témoin (CL50-96h).

Protocole : 5 concentrations en progression géométrique sont réalisées dans du milieu synthétique normalisé (OCDE 203). Dans chaque concentration sont placés 7 individus. Un témoin est réalisé dans les mêmes conditions sans substance d'essai. Au moins 2 fois par jour durant l'essai, on détermine le nombre de poissons morts dans chaque récipient d'essai et tout comportement anormal. L'essai est réalisé dans une enceinte permettant de maintenir une température constante de 23° +/- 1 °C. Les récipients utilisés permettent d'avoir un volume minimum de 1 litre par gramme de poisson. Le milieu synthétique doit avoir un pH de 7,8 +/- 0,2 et une concentration en oxygène dissous supérieure à 90%.

Volume nécessaire : 40 litres

Remarques : Le test sur adultes est plus sensible que le test sur œufs pour les polymères cationiques.

- **Test embryon larvaire sur *Danio rerio* (anciennement *Bachydanio rerio*)** [Porcher. J.M, 2003]



Figure 16: Larve de *Danio rerio*

Organisme : Œufs transparents non collants et très perméables. Une seule femelle peut pondre de 50 à 200 œufs par jour, ce qui permet de réaliser un très grand nombre de tests.

Norme/ Indice de classement : T90-331

Champs d'application : Eau douce.

Principe/Protocole : Détermination de la CL 50 en 96h. Les tests sont réalisés sur des œufs fécondés le jour même. A la fin du test on note le nombre d'embryons **morts et anormaux**.

Remarques : Développement rapide. Le développement embryo-larvaire est très bien décrit dans de nombreuses études, et permet une interprétation facile des effets des produits toxiques. De plus, il est très rapide, l'éclosion des œufs a lieu 4 à 5 jours après la ponte.

- **Détermination de l'inhibition de la mobilité de *Daphnia magna* Straus** [IRH environnement, 2006], [Santiago. S, 2002], [SGS Multilab, 2006]



Figure 17: *Daphnia magna*

Organisme étudié : La daphnie (*Daphnia magna*) est un microcrustacé herbivore (ordre des Cladocères) de petite taille (de 0,1 à 4-5 mm de longueur) qui appartient au zooplancton. Elles sont également connues sous le nom de « puce d'eau ». Les organismes utilisés pour l'étude sont obtenus par parthénogenèse et âgées de moins de 24 heures.

Norme/Indice de classement : NF EN ISO 6341 de mai 1996, NFT 90-378, OCDE 202.

Champs d'application : La méthode est applicable aux substances chimiques solubles dans l'eau ou pouvant être maintenues en suspension ou en dispersion stable dans les conditions de l'essai, aux eaux de surface et souterraines et aux effluents industriels et urbains.

Principe : Détermination de la concentration de l'échantillon qui, en 24 heures, provoque une **immobilisation** de 50% des daphnies mises en présence avec l'échantillon par rapport à un témoin (CE50-24h). La substance de référence pour cette analyse est le dichromate de potassium (CE50-24h comprise entre 0,6 et 1,7 mg/l).

Protocole : Les tests doivent être réalisés en condition de lumière maîtrisée, soit en obscurité, soit sur un cycle jour/nuit de 16h/8h et à une température maintenue à $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Les daphnies utilisées pour l'essai doivent être âgées de moins de 24h et provenir d'un élevage aux conditions bien définies. Les solutions testées (substances chimiques, effluents ou eaux naturelles) sont versées selon des volumes croissants dans une série de récipients et complétées avec une eau de dilution dont la composition est définie par la norme, de manière à obtenir les concentrations souhaitées pour l'essai. Après 24h (ou 48h), les daphnies encore mobiles sont dénombrées. Pour chaque concentration, un pourcentage d'immobilité est calculé. La CE50i-24h (ou CE50i-48h) est ensuite calculée par une méthode statistique appropriée.

Volume nécessaire : 500 ml.

Remarques : Test simple très utilisé rapide et reproductible. Espèce sensible à une très large gamme de contaminants.

Le test daphnie est utilisé pour évaluer la toxicité d'un échantillon sur l'écosystème aquatique. Il permet de déterminer le paramètre Matière Inhibitrice (MI) exprimé en équitox utilisé pour calculer les redevances dues aux stations d'épurations par les industriels en fonction du débit du rejet.

➤ ***Oncorhynchus mykiss*** [Garric. J, 1994]



Figure 18: *Oncorhynchus mykiss*

Organisme : *Oncorhynchus mykiss*. La truite arc-en-ciel est un poisson de la famille des salmonidés d'eau douce. Sa longueur peut atteindre 80 cm.

Norme/Indice de classement : NF T 90-305.

Champs d'application : Eau douce.

Principe/Protocole : Ce test consiste à déterminer la concentration de l'échantillon qui cause 50% de **mortalité** après 96h d'exposition (CL50 96h) dans un système statique et dans des conditions contrôlées. Pour déterminer la CL50 96h, une série de dilutions de l'échantillon est effectuée et le pourcentage de mortalité est évalué pour chacune des concentrations après 96 heures d'exposition (relation dose réponse).

Volume nécessaire : 60 litres.

Remarques :

+ : Cette espèce est sensible à une large gamme de contaminants et est relativement facile à conserver en laboratoire.

- : Un pH, des matières en suspension ou une concentration en oxygène dissous se situant hors des limites de tolérance de l'espèce peuvent affecter les organismes et rendre impossible le discernement des effets reliés aux substances toxiques présentes dans l'échantillon.

➤ **Essai de Létalité vis-à-vis de *Scophthalmus maximus*** [SGS Multilab, 2006]



Figure 19 : *Scophthalmus maximus*

Organisme : Les animaux utilisés lors des tests sont des turbot juvéniles (*Scophthalmus maximus*) provenant d'une même souche, de taille comprise entre 4 et 6 cm et maintenus en élevage au laboratoire plus de quinze jours sans aucune perte.

Norme/Indice de classement : OCDE 203

Champs d'application : La méthode est applicable aux substances chimiques solubles dans l'eau ou pouvant être maintenues en suspension ou en dispersion stable dans les conditions de l'essai.

Principe : Détermination de la concentration de l'échantillon qui, en 96 heures, provoque la **mort** de 50% des poissons mis en présence avec l'échantillon par rapport à un témoin (CL50-96h).

Protocole : 5 concentrations en progression géométrique sont réalisées dans de l'eau de mer synthétique. Dans chaque concentration sont placés 7 individus . Un Témoin est réalisé dans les mêmes conditions sans substance d'essai. Au moins 2 fois par jour durant l'essai, on détermine le nombre de poissons morts dans chaque récipient d'essai et tout comportement anormal. L'essai est réalisé dans une enceinte permettant de maintenir une température constante de 15° +/- 1,5 °C avec une photopériode 16h/8h. Les récipients utilisés permettent d'avoir un volume minimum de 1 litre par gramme de poisson. Le milieu synthétique doit avoir une salinité entre 30 et 36‰ et une concentration en oxygène dissous supérieure à 60%.

Volume nécessaire : 10 litres

➤ **Test Thamnocephalus** [Paschal .J, 2005]



Figure 20: *Thamnocephalus platyrus*

Organisme : *Thamnocephalus platyrus*, crustacé.

Norme/Indice de classement : Pas de norme.

Principe/ Protocole : Kit commercial THAMNOTOXKIT pour la détermination de la concentration **létale** nécessaire pour obtenir un taux de mortalité de 50% après une exposition de 24 h au toxique(CL50-24h).

➤ **Détermination de l'effet inhibiteur d'échantillons d'eau sur la luminescence de *Vibrio fischeri* (anciennement *Photobacterium phosphoreum* NRRL B-11177) ou test Microtox® (azur environmental) ou Luminotox® (dr Lange).** [IRH environnement, 2006], [Santiago. S, 2002], [SGS Multilab, 2006]

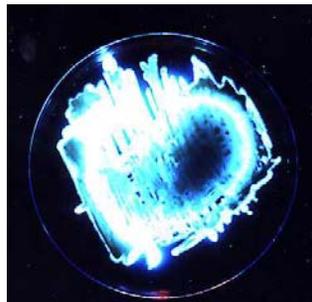


Figure 21: Test Microtox

Organisme étudié : *Vibrio fischeri*, bactérie marine. Les bactéries utilisées pour le test sont lyophilisées congelées et conservées à t°<-18°C .

Norme/Indice de classement : NF EN ISO 11348 (1998) T90-320

Champs d'application :La méthode est applicable aux effluents aqueux urbains ou industriels, aux eaux douces marines et saumâtres, aux lixiviats et éluats.

Principe : Ce test repose sur la détermination de l'**inhibition de luminescence** émise par une bactérie marine *Vibrio fischeri*. Cet essai permet de déterminer la concentration d'échantillon (en %) qui, après 5, 15 à 30 min inhibe 50 % de la luminescence des bactéries. Cette concentration est désignée par CE50-t, t représentant le temps de contact des bactéries avec l'échantillon.

Protocole : Au moins 5 concentrations en progression géométrique sont réalisées dans du milieu synthétique. Chaque concentration comporte au moins 100µl de suspension bactérienne. Un Témoin est réalisé dans les mêmes conditions sans substance d'essai. Après 10 à 15 minutes pour la stabilisation de l'émission lumineuse, les différentes concentrations sont lues au luminomètre.

Volume nécessaire : 150 ml

Remarques :

+ : Test très utilisé et très rapide (1h). Le test Microtox est fiable, standardisé et largement utilisé. Bon rapport qualité/prix.

- : La représentativité écologique de l'espèce (qui vit en eau salée) et la mesure biologique effectuée qui se situe au niveau biochimique limitent le potentiel d'interprétation de cet essai.

Annexe 14: Essais d'écotoxicité chronique

- **Test *Danio rerio*** [Garric. J, 1994], [SGS Multilab, 2006]



Figure 22 : *Danio rerio*

Organisme : Poisson zèbre. Taille de 2 à 5 cm. Teinte vives, métalliques et brillantes. Originaire d'Inde et de Malaisie. Ce poisson d'eau douce appartient à la classe des poissons osseux de la famille des cyprinidés. Les poissons utilisés pour le test proviennent d'une même souche et sont issus de préférence du même frai et maintenus en élevage au laboratoire plus de quinze jours sans aucune perte et dans des conditions d'illumination et de qualité de l'eau similaire à celles de l'essai.

Norme/Indice de classement : OCDE 215

Champs d'application : La méthode est applicable aux substances chimiques solubles dans l'eau ou pouvant être maintenues en suspension ou en dispersion stable dans les conditions de l'essai.

Principe : Détermination de la concentration de l'échantillon qui, en 28 jours minimum, provoque une variation de x% du taux de **croissance** des poissons d'eau douce mis en présence avec l'échantillon par rapport à un témoin (CEx).

Protocole : 5 concentrations en progression géométrique sont réalisées dans du milieu synthétique normalisé (OCDE 215) à partir des résultats d'un essai de toxicité aiguë (OCDE 203). Dans chaque concentration sont placés 7 individus. Un témoin est réalisé dans les mêmes conditions sans substance d'essai. Chaque jour, les poissons reçoivent 4% de leur masse en nourriture (*Artemia* et *Brachionus* vivants). L'essai est réalisé dans une enceinte permettant de maintenir une température constante de 23° +/- 1 °C. Les récipients utilisés permettent d'avoir un volume minimum de 5 litres par gramme de poisson. L'essai se déroule en conditions semi-statique, c'est-à-dire avec renouvellement régulier de la solution d'essai.

Volume nécessaire : 2 litres

- **Détermination de la toxicité chronique vis-à-vis de *Ceriodaphnia dubia* en 7 jours.** [IRH environnement, 2006]

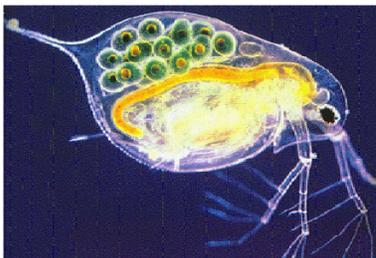


Figure 23: *Ceriodaphnia dubia*

Organisme : *Ceriodaphnia dubia* (microcrustacé) est un organisme zooplanctonique filtreur de très petite taille (0.6 à 1.4 mm). Les organismes sont obtenus par parthénogénèse acyclique

dans les conditions d'élevage identiques aux conditions de l'essai, âgées de moins de 24 heures et issues d'une portée comportant au moins 8 nouvelles nées.

Norme/Indice de classement : NF T90-376

Champs d'application : Eau douce, effluents industriels et urbains.

Principe : Détermination de la concentration de l'échantillon qui, en 7 jours, provoque x% d'inhibition de la **croissance** de la population ou de la **reproduction** des cériodaphnies mises en présence avec l'échantillon par rapport à un témoin. La substance de référence pour cette analyse est le sulfate de cuivre ou le pentachlorophénate de sodium

Protocole : 5 concentrations en progression géométrique sont réalisées dans du milieu synthétique normalisé ELENDDT M4 (NF T 90-376). Chaque concentration comporte dix réplicats de 50 ml dont 5 ml de nourriture (mélange d'algues *Chlorella vulgaris* et *Pseudokirchneriella subcapitata* et de nourriture pour alevins) dans lesquels sont placés 1 individu. Un Témoin est réalisé dans les mêmes conditions sans substance d'essai. Tous les jours, les solutions sont renouvelées et les nouveaux nés comptés et seul la mère est replacée dans le milieu fraîchement préparé. Au bout de 7 jours, on détermine le nombre cumulé de jeunes nées dans chaque récipient d'essai. L'essai est réalisé sous un cycle jour/nuit de 16h/8h avec une intensité d'éclairage au niveau de l'interface air/eau de 300 lux dans une enceinte permettant de maintenir une température constante de 25° +/- 1 °C. Les récipients utilisés permettent d'avoir un volume de 50 ml pour 1 cériodaphnie. Le milieu synthétique ELENDDT M4 doit avoir un pH de 8,0 +/- 0,3 et une concentration en oxygène dissous supérieure à 7 mg/l.

Volume nécessaire : 5 litres.

Remarques :

+ : Test rapide (7 jours) et sensible. *Ceriodaphnia dubia* est une des espèces les plus fréquemment utilisée pour tester la toxicité chronique.

- : L'essai peut être perturbé à cause de la présence de matières en suspension, ou de coloration trop intense.

➤ **Copépodes marins** [SGS Multilab, 2006]



Figure 24: *Tigriopus brevicornis*

Organisme : Adultes de *Tigriopus brevicornis* (Copepoda, harpacticoïdes) obtenues dans les conditions d'élevage définies par le laboratoire.

Norme/Indice de classement : ISO 14669.

Champs d'application : La méthode est applicable aux substances chimiques solubles dans l'eau ou pouvant être maintenues en suspension ou en dispersion stable dans les conditions de l'essai, à l'eau salée et aux effluents industriels et urbains

Principe : Détermination de la concentration de l'échantillon qui, en 48 heures, provoque une **mortalité** de 50% des copépodes mis en présence avec l'échantillon par rapport à un témoin (CL50-48h).

Protocole : 5 concentrations en progression géométrique sont réalisées dans du milieu synthétique normalisé (FD ISO 14669). Chaque concentration comporte quatre réplicats de 10 ml dans lesquels sont placés 5 individus. Le dispositif d'essai est constitué d'une grille de test à

usage unique en polyéthylène inerte équipée de 24 puits de 12 ml (et 6 puits de conditionnement). Un Témoin est réalisé dans les mêmes conditions sans substance d'essai. Au bout de 24 et 48 heures, on détermine le nombre de copépodes morts dans chaque récipient d'essai. L'essai est réalisé sous un cycle jour/nuit de 16h/8h dans une enceinte permettant de maintenir une température constante de 20° +/- 2 °C..

Volume nécessaire : 2 litres

- ***Crassostrea gigas* : Test d'embryotoxicité sur œufs fécondés de bivalves** [SGS Multilab, 2006]

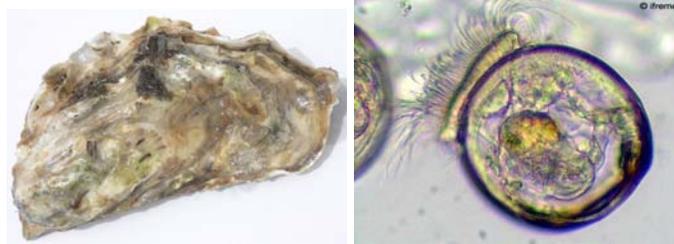


Figure 25 : *Crassostrea gigas* et larve de *Crassostrea gigas*

Organisme : Huître creuse : *Crassostrea gigas*.

Norme/Indice de classement : Méthodologie issue du protocole E.P.A. : EPA/OPPTS 850-1055 (avril 1996) – “ Bivalve acute toxicity test (Embryo-larval) ”.

Champs d'application : eau salée, effluents industriels et urbains

Principe : Permet de déterminer la dose pour laquelle 50 % des larves sont **anormales**. L'essai dure 24 à 48h.

Protocole : La ponte des mollusques matures est déclenchée par des chocs thermiques modérés. Dès l'obtention des produits males et femelles, ils sont mis en contact avec une agitation douce afin de réaliser la fécondation. Les œufs fécondés obtenus sont rapidement répartis dans les milieux à tester. Le développement des larves d'huîtres se déroule à une température de 24°C pendant 24 heures (48 heures à 20°C pour les moules). L'arrêt de l'incubation est réalisé par injection de formol. Le comptage des larves est réalisé à l'aide d'un microscope inversé. Dans chaque fiole de développement larvaire sont prélevés, après agitation, des volumes contenant 100 larves environ. La qualité des larves est appréciée en deux catégories: larves normales ou anormales (manteaux sortant partiellement de la coquille, coquilles mal formées, segmentations et tailles). Le pourcentage de larves anormales est ainsi déterminé pour chaque concentration testée.

Volume nécessaire : 1 litre.

➤ **Lentille d'eau, test de croissance** [Garric. J, 1993]



Figure 26: *Lemna minor*

Organisme : *Lemna minor* sont des petites lentilles d'eau faisant partie des végétaux supérieurs. Elles ne dépassent pas 6 mm de largeur.

Norme/Indice de classement : T90 337

Champs d'application : Eau douce.

Principe : Détermination du % d'inhibition de **croissance** IC50, NOEC-LOEC. C'est un essai de laboratoire statique facile à réaliser qui dure 4 à 5 jours.

Volume nécessaire : 1 litre.

Remarques : Des difficultés peuvent être rencontrées pour maintenir la culture de lentille, elle peut être infestée par des cyanophycées, des variations naturelle dans le temps de la germination et de l'élongation racinaire peuvent être notée.

➤ **Essai d'Inhibition de la Croissance des Algues marines : *Phaeodactylum tricornutum*** [SGS Multilab, 2006]



Figure 27: *Phaeodactylum tricornutum*

Organisme : Culture d'algues *Phaeodactylum tricornutum*, obtenue à partir de souches sur gélose (S.A.G ; Göttingen) et maintenues en phase de croissance exponentielle.

Norme/Indice de classement : NF EN ISO 10253

Champs d'application : Cette méthode est applicable aux substances facilement solubles dans l'eau, à l'eau salée et aux effluents industriels et urbains.

Principe : Détermination de la concentration de l'échantillon qui, en 72 heures, provoque une diminution de 50% du taux de **croissance** cellulaire (CE50c) et de biomasse (CE50b) des cultures d'algues mises en présence avec l'échantillon par rapport à un témoin. La substance de référence pour cette analyse est le dichromate de potassium (CE50c comprise entre 1,4 et 3,6 mg/l).

Protocole : 5 concentrations en progression géométrique sont réalisées dans de l'eau de mer synthétique (ISO 10253). Chaque concentration comporte trois réplicats inoculés à 10 000 ϕ /ml et un autre non inoculé représente un blanc réactif lors de la lecture au spectrophotomètre. Un témoin est réalisé dans les mêmes conditions sans substance d'essai. La concentration cellulaire (nombre de cellules par ml) est déterminée à t 24, t 48 et t 72 h par lecture de la DO à 678 nm au spectrophotomètre.

Volume nécessaire : 0,5 litre

- **Détermination de la toxicité chronique des eaux par inhibition de la croissance de l'algue d'eau douce *Pseudokirchneriella subcapitata* (anciennement *Selenastrum capricornutum* Printz, *Raphidocelis subcapitata*).** [IRH environnement, 2006], [Santiago. S, 2002], [SGS Multilab, 2006]



Figure 28: *Pseudokirchneriella subcapitata*

Organisme : Algue verte d'eau douce eucaryote et unicellulaire de petite taille (5-6 μm) et de forme caractéristique en croissant plus ou moins hélicoïdale. Souche ATCC 22662 ou CCAP 278/4.

Norme/Indice de classement : NF T 90-375, 1998. NF EN 8692.

Champs d'application : Eaux douces. Ce test peut être utilisé pour identifier les échantillons qui entraînent une stimulation de la croissance algale liée à la présence d'azote et de phosphore.

Principe : Détermination de la concentration de l'échantillon qui, en 72 heures, provoque une diminution de 50% du taux de **croissance** cellulaire (CE50c) et de biomasse (CE50b) des cultures d'algues mises en présence avec l'échantillon par rapport à un témoin. La substance de référence pour cette analyse est le dichromate de potassium (CE50c comprise entre 0.92 et 1.46 mg/l).

Protocole : 5 concentrations en progression géométrique sont réalisées dans du milieu synthétique normalisé (ISO 8692).. Un témoin est réalisé dans les mêmes conditions sans substance d'essai. La concentration cellulaire (nombre de cellules par ml) est déterminée à t 24, t 48 et t 72 h par lecture de la DO à 682 nm au spectrophotomètre.

Volume nécessaire : 200 ml.

Remarque : Capable de se multiplier plus de trois fois par jour, cette algue présente l'intérêt de pouvoir caractériser rapidement un niveau trophique primordial. Cet essai présente une bonne fiabilité et une grande sensibilité à un faible coût.

Annexe 15: Essais de génotoxicité

Tests de d'altération primaire de l'ADN

➤ **Test de détection des adduits**

Ce test consiste à détecter les mécanismes d'adduits d'ADN lors du contact entre les cellules et les produits à analyser. Certains polluants, comme les HAPs, après incorporation dans la cellule, se métabolisent en composés actifs qui vont venir se lier à l'ADN par covalence et provoquer des altérations structurales de l'ADN. Ce test d'adduits d'ADN est un bon biomarqueur d'exposition précoce aux HAPs, métaux lourds, radicaux libres et composés électrophiles, il est essentiellement utilisé en milieu marin.

➤ **Test des Comètes**

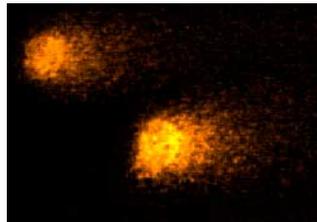


Figure 29: Test des comètes

Norme/Indice de classement : V03-008

Champs d'application : Effluents

Principe : Le test des comètes quantifie les cassures simples et doubles brins de l'ADN. Ces dernières sont tantôt directement induites par le génotoxique (avec ou sans bioactivation), tantôt consécutives au stress oxydatif induit par l'agent, tantôt la conséquence de la mise en œuvre de système de réparation de l'ADN. Dans tous les cas, ce sont des lésions primaires à l'ADN qui sont quantifiées. Ce test permet d'établir la relation dose-effet.

Protocole : Dans l'essai des comètes, des cellules de l'organisme exposé sont incluses dans l'agarose sur des lames de microscope, lysées avec des concentrations salines élevées en conditions alcalines puis soumises à électrophorèse. L'ADN des cellules contenant des cassures est expulsé du noyau. Il apparaît alors sous la forme d'une comète après marquage avec un fluorochrome intercalant de bases. La lecture en microscopie de la migration de l'ADN à l'extérieur du noyau et de l'intensité de fluorescence est utilisée pour quantifier le niveau de dommages à l'ADN.

Remarques :

+ : Rapide, sensible, il nécessite peu de cellules et apporte une réponse en 48 heures. Très simple et facile d'utilisation, le test des Comètes est réalisé pour l'étude de très nombreuses espèces aquatiques pour le biomonitoring des effets génotoxiques (moules, huîtres).

- : La principale limite de ce test repose sur la connaissance imparfaite de la signification biologique des cassures de brin au niveau de l'ADN et leur éventuelle relation avec un processus de cancérogènes.

Tests de mutation chromosomiques

- **Tests des micronoyaux sur tritons *Pleurodeles walt* (ou test Jaylet) et sur xénope *Xenopus laevis***, [Godet F, 1994], [Garric J et al., 2001]



Figure 30: *Pleurodeles walt* et *Xenopus laevis*

Organisme : amphibien, *Pleurodeles walt* (Tritons), *Xenopus laevis* (Xénope)

Norme/Indice de classement : NF T 90-325

Champs d'application : effluents industriels, eaux potables ou en cours de traitement, lixiviats ...

Principe : Ce test consiste à rechercher la présence de micronoyaux dans le cytoplasme des érythrocytes des larves de *Pleurodeles walt* ou de *Xenopus laevis*.

Protocole : Test in vivo. Les larves de *Pleurodeles walt* ou de *Xenopus laevis* sont mises en présence d'échantillons aqueux du milieu à tester. Plusieurs lots d'animaux sont constitués : un lot témoin négatif (eau non génotoxique), un lot témoin positif (en présence d'un génotoxique de référence), plusieurs lots expérimentaux (au moins trois) (animaux exposés à différentes concentrations du milieu à l'essai). Après une période d'exposition de 12 jours, un frottis sanguin par animal est réalisé après ponction cardiaque. Le taux 0% d'érythrocytes à micronoyaux est déterminé après examen microscopique de chaque frottis. Les résultats sont statistiquement traités pour permettre la comparaison des taux 0% d'érythrocytes micronucléés présentés par les différents lots. En présence d'un agent toxique mutagène, on notera l'apparition d'un deuxième noyau (micronoyau) qui correspond à une mutation avec aberration chromosomique. On évalue ensuite le nombre de noyaux modifiés.

Volume nécessaire : 18 litres

Remarques :

+ : De nombreuses études ont établi la fiabilité, la sensibilité et la pertinence du test micronoyau amphibiens.

- : Ce test ne peut être effectué qu'à certaines périodes de l'année. Il faut éviter la période de ponte qui s'étale de septembre à mai. Il est également pratiqué chez les poissons (ombre,...).

Tests de mutation géniques

- Détermination de l'activité mutagène vis-à-vis de *Salmonella enterica*, anciennement *Salmonella thyphimurium*) (test d'Ames en méthode liquide ou test de fluctuation) [IRH environnement, 2006]

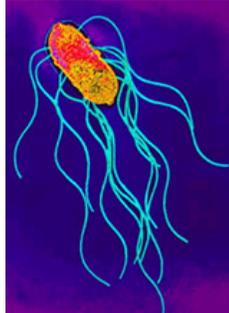


Figure 31: *Salmonella thyphimurium*

Organisme : Les salmonelles sont des entérobactéries du genre *Salmonella*.

Norme/Indice de classement : Test de fluctuation proposé par McPherson et Nestmann, 1990)

Principe/Protocole : Ce test permet de mettre en évidence une mutation reverse. Le test est effectué sur les souches de mutant préconisées par Ames (TA 98 et TA 100). Il se différencie de la méthode classique par les conditions expérimentales suivantes : les bactéries sont cultivées sur un milieu liquide et non gélosé. Cet essai est réalisé en microplaques de 96 puits, et l'effet mesuré est la croissance bactérienne dans un milieu sans histidine. Sachant que ces souches sont incapables de se développer dans un milieu pauvre en histidine, seuls les mutants (capables d'inverser leur dépendance à l'histidine) seront détectés. Leur présence sera visible par l'addition d'un indicateur de pH, le bromocrésol pourpre. Les puits contenant les mutants deviennent turbides et le pH devient acide ; le milieu est pauvre au départ (pH 7.4) et devient jaune (pH 5.2 à 6.8). Au bout de 5 jours d'incubation à 36°C +/- 2°C, les puits jaunes sont comptabilisés. L'activité mutagène de l'échantillon testé est alors déterminée. Pour chaque concentration, le résultat est comparé au témoin.

Volume nécessaire : 200 ml.

Remarques : Test in vitro

+ : Ce test est le plus répandu des tests de génotoxicité, il est également très rapide (résultats au bout de 4 jours).

- : Ce test ne peut toutefois pas donner directement une interprétation fiable, plusieurs essais sont nécessaires.

Ce test est réalisé sur une bactérie qui possède un seul chromosome, alors que ce type d'organisme, par nature, n'est pas susceptible de développer de cancer et que son matériel génétique n'est ni organisé, ni protégé de la même manière que celui des organismes supérieurs.

➤ **Test d'Ames Classique** [Godet .F, 1994]

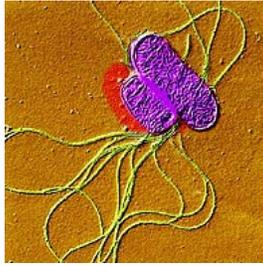


Figure 32: *Salmonella typhimurium*

Organisme : *Salmonella typhimurium*

Norme/Indice de classement : Test de fluctuation proposé par McPherson et Nestmann, 1990)

Principe : Le test d'Ames est un test de mutation génique. Il consiste à examiner si une substance chimique est capable d'induire des mutations chez la bactérie *Salmonella typhimurium* 'his⁻'. Les souches de *Salmonella typhimurium* utilisées sont porteuses d'une mutation sur l'un des gènes gouvernant pour la synthèse de l'acide aminé histidine. Cette mutation 'his⁻' rend les souches incapables de se développer sur milieu de culture dépourvu d'histidine. Avec une fréquence propre à chaque souche, ces mutations 'his⁻' peuvent réverter spontanément vers 'his⁺'. Les bactéries porteuses de cette mutation réverse, peuvent alors pousser sur milieu dépourvu de cet acide aminé. La fréquence de ces mutations reverse peut être considérablement augmentée en exposant les bactéries à un agent mutagène. Le test d'Ames permet de quantifier l'induction de ces mutations réverses 'his⁺'

Protocole : Ce test consiste à réaliser une série de mélanges de la souche bactérienne et de quantités croissantes de la substance à tester et à les étaler sur un milieu gélosé où seul les révertants 'his⁺' pourront se développer. Certains agents mutagènes n'agissant que sur des bactéries en croissance, des traces d'histidine sont ajoutées au milieu de culture afin de permettre deux à trois cycles de division des bactéries. Après incubation 48 à 72 heures à 37°C les révertants 'his⁺' apparaissant sous forme de colonies sont dénombrés.

Remarques :

+ : Rapide, standard et peu coûteux.

- : Sensibilité du test d'Ames plus faible par rapport à celle du test micronoyaux sur tritons, screening primaire, capacité limitée à la réparation de l'ADN.

➤ **Mutatox**

Organisme : *Vibrio fischeri* N 169 (bactérie mutante noire) bactérie marine

Norme/Indice de classement : ISO 11348-3

Principe : Détection de la présence d'agents mutagènes dans le produit testé. Ce test mesure la fréquence d'apparition d'une mutation portant sur la bioluminescence de la bactérie. Les agents mutagènes suspectés sont détectés si l'intensité lumineuse est au moins deux fois supérieure à l'intensité lumineuse moyenne des témoins négatifs, et ce dans au moins deux concentrations successives différentes. La qualité de la souche est contrôlée à l'aide de témoins positifs. Ce test consiste donc en un dosage de l'augmentation de luminescence après 16, 20, et 24h d'incubation.

Protocole : Kit commercial

➤ **SOS chromotest** [IRH environnement, 2006]

Organisme : Bactérie, *Escherichia coli*.

Norme/Indice de classement : Kit commercial

Principe : Ce test réalisé sur une souche d'*Escherichia coli* évalue in vitro la capacité d'un échantillon à induire le système de réparation dit "SOS". Le SOS est un système de contournement qui permet à la réplication de se poursuivre en dépit du blocage occasionné par la présence d'une lésion. En fait, la cellule négocie sa survie au prix d'un certain niveau de mutagenèse. Le principe de ce test est d'avoir conditionné la synthèse de la β -galactosidase à l'induction du système SOS. En cas de lésion génétique nécessitant l'intervention du système SOS, la β -galactosidase est libérée et des colonies d'*E.coli* bleues apparaissent. Ce contact a lieu en présence ou en absence d'un activateur métabolique S9.

Volume nécessaire : 200 ml

Remarques : test très rapide (5h) et facile à mettre en œuvre.

Annexe 16: Liste des éléments pris en compte dans l'analyse physico-chimique des rejets

- Matière organique :
 - o COT
 - o DCO
 - o DBO₅
- Matière azotée :
 - o azote total
 - o nitrites
 - o nitrates
 - o ammonium.
- Matières phosphorées :
 - o Phosphore total
 - o Phosphate PO₄
 - o Phosphonate
- Particules en suspension :
 - o MES
 - o Couleur
- Minéralisation :
 - o Chlorure : Cl⁻
 - o Sulfates : SO₄²⁻
 - o Calcium : Ca
 - o Aluminium : Al
 - o Magnésium : Mg
 - o Conductivité
- Métaux :
 - o Cadmium : Cd*
 - o Chrome : Cr
 - o Cuivre : Cu
 - o Nickel : Ni
 - o Plomb : Pb*
 - o Zinc : Zn
 - o Mercure : Hg*
 - o Fer : Fe
- Aluminium : Al
- Antimoine : Sb
- Arsenic : As
- Sélénium : Se
- Micropolluants organiques :
 - o HAP*
- Pesticides :
 - o Alachlore*
 - o Atrazine*
 - o Cadmium*
 - o Diuron*
 - o Endosulfan*
 - o Hexachlorobenzene*
 - o Hexachlorobutadiene*
 - o Hexachlorocyclohexane*
 - o Isoproturon*
 - o Simazine*
 - o Aldrine*
 - o Dieldrine*
 - o Endrine*
- Bromate
- Chlorite
- Température
- pH
- Sous produits de NF et osmose inverse :
 - o Acrylamide
 - o Détergents anioniques
 - o Phosphonates
 - o Orthophosphates

Annexe 17: Filière de traitement et rejets générés à Méry-sur-Oise

L'eau est pompée dans l'Oise puis décantée naturellement pendant environ 2 jours dans un bassin de stockage et alimente les unités de prétraitement des tranches 1 et 2. L'unité de prétraitement de la tranche 1 comporte une étape de clarification, une filtration sur sable et une ozonation, celle de la tranche 2 comporte une étape de clarification puis une ozonation et une filtration bicouche sur sable et anthracite. A la fin de cette première étape de prétraitement, l'eau clarifiée de la tranche 2 arrive dans un réservoir tampon qui reçoit aussi 30 000 m³/j d'eau prétraitée de la tranche 1. L'eau est ensuite envoyée sur des préfiltres puis sur les filtres de nanofiltration. L'eau de la tranche 1 passe sur un filtre à charbon actif et subit ensuite une chloration. L'eau de la tranche 2 est désinfectée aux UV. Les eaux des tranches 1 et 2 sont ensuite mélangées et acheminées vers un réservoir tampon avant l'élévation vers le réseau de distribution (Figure 33).

L'usine est autorisée à rejeter tous ses effluents dans l'Oise à l'exception des terres de décantation des deux tranches qui sont issues du traitement des eaux de purges et de vidange de décanteurs. L'installation de nanofiltration produisant un volume important d'effluents, une autorisation a été donnée à titre provisoire par arrêté préfectoral du 20 octobre 1999.

Les effluents rejetés au niveau des 4 points de rejet dont dispose l'usine sur la rive gauche de l'Oise comprennent (Tableau 17) :

- Emissaire 2 : eau de lavage des filtres à sable et à charbon actif de la tranche 1. (6800 m³/j).
- Emissaire 3 : eau de surverse des boues de vidanges des purges et des décanteurs des deux tranches (5500 m³/j).
- Emissaire 4 : eau de lavage des filtres bicouche et rejets de nanofiltration de la tranche 2 (environ 28 500 m³/j), dont :
 - o Solution de lavage des filtres bicouche (6500 m³/j)
 - o Eau de décolmatage des préfiltres (75 m³/j)
 - o Régénération des préfiltres (7 m³/j soit 80 m³ par régénération avec 30 régénérations par an).
 - o Régénération des membranes de nanofiltration (74 m³/j soit 450 m³ par régénération avec 60 régénérations par an).
 - o Concentrats (environ 22000 m³/j)

Rejet	Emissaire 2		Emissaire 3			Emissaire 4		
	Lavage des filtres à sable T1	Lavage des filtres à charbon actif T1	Vidange des décanteurs T1	Vidange des purges T1	Vidange des purges T2	Décolmatage des préfiltres	Lavage des filtres bicouche T2	Rejets de NANOFILTRATION T2
Volume (m ³ /j)	3600	3200	6 x 2000 m ³ /an	1100	4500	75	6500	21981
Continu/discontinu			Discontinu	Continu	Continu	Discontinu	Discontinu	Continu

Tableau 17: Gestion des rejets liquides de l'usine de Méry-sur-Oise

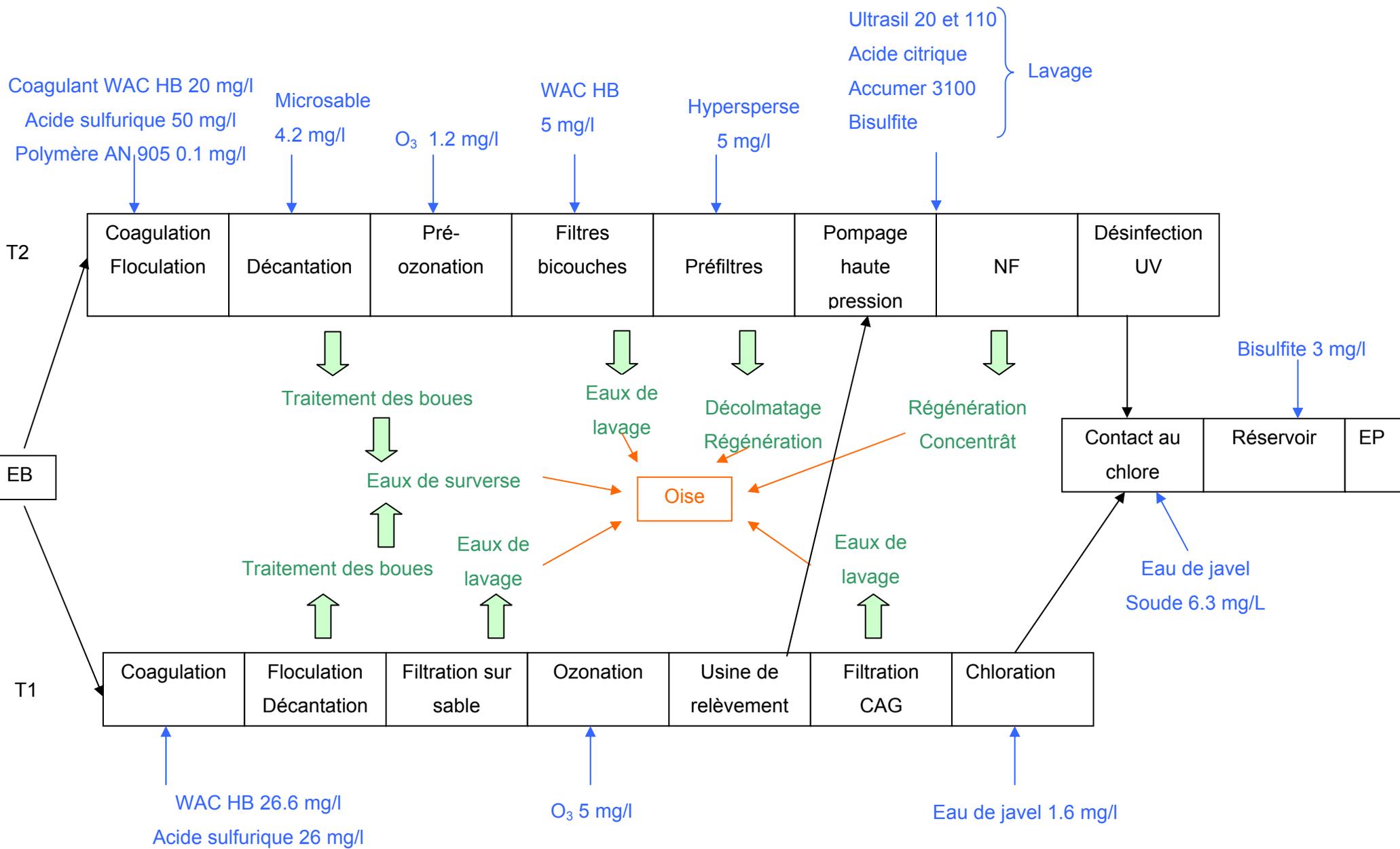


Figure 33: Filière de traitement de l'eau à Méry-sur-Oise

Annexe 18: Campagne d'analyse sur l'usine de Méry-sur-Oise et rejets étudiés

Pour des raisons pratiques, l'étude porte sur les rejets issus du procédé de nanofiltration et plus précisément sur le rejet n°4 (Figure 34 et Figure 35) ($28\,500\text{ m}^3/\text{j}$) et le concentrât (Figure 36) ($22\,000\text{ m}^3/\text{j}$). Les émissaires de ces rejets sont facilement accessibles pour effectuer des prélèvements, le rejet n°4 présente un intérêt car il est directement rejeté dans la rivière et le concentrât seul est l'effluent susceptible d'engendrer le plus de pollution. En effet, le suivi des rejets de l'usine de Méry-sur-Oise de l'année 2003 montre un apport très important du concentrât dans le rejet n°4, à savoir quasiment 100% des sulfates et de l'ammonium, 83% de la DCO et 66% du phosphore. La régénération apporte, en pourcentage très peu d'éléments par rapport au concentrât en terme de volume cependant elle génère 74% de la DBO, 30% de la DCO et 66% des détergents anioniques. Une régénération n'intervient qu'après huit semaines de production environ. Il aurait été intéressant d'inclure également ce rejet dans l'étude mais il est difficilement accessible [Compagnie générale des eaux, 2003].

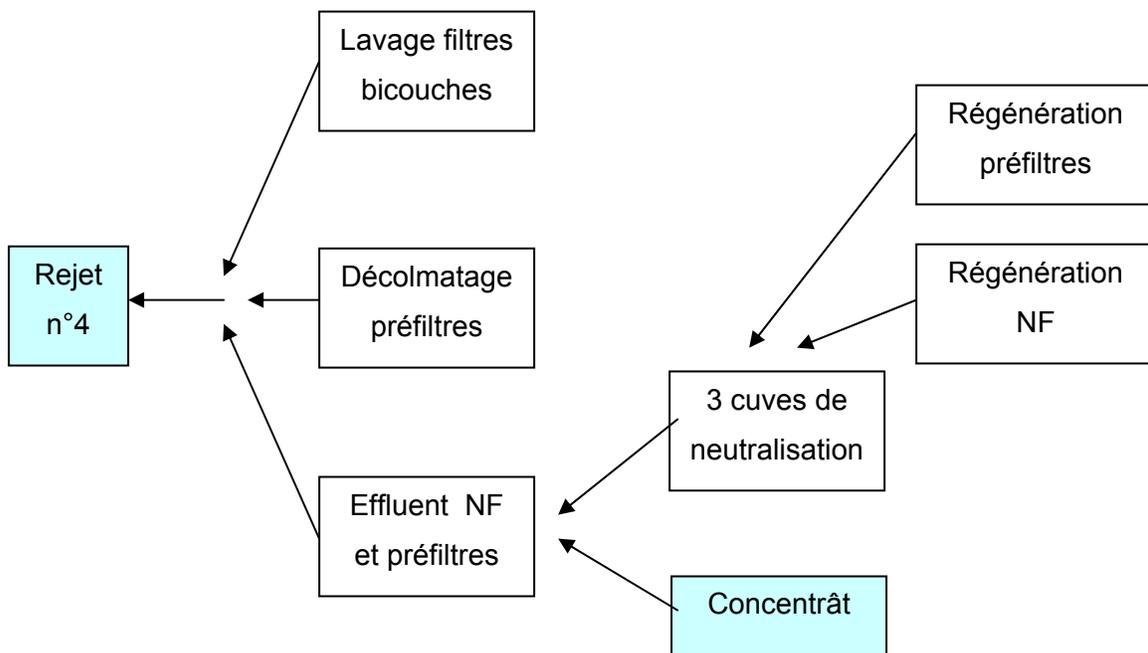


Figure 34: Schéma général du rejet 4 de l'usine de Méry-sur-Oise

Le concentrât est l'eau résiduaire de l'étape de nanofiltration. Son débit est continu et représente environ 15% du débit d'alimentation. Le taux de conversion des membranes est de 85%. Ainsi, pour un débit d'eau d'alimentation de $100\text{ m}^3/\text{h}$ on obtient $85\text{ m}^3/\text{h}$ de perméat et $15\text{ m}^3/\text{h}$ de concentrât.

Les eaux de nettoyage des membranes de nanofiltration et des préfiltres sont de 2 types selon qu'elles proviennent d'un décolmatage (nettoyage physique) ou d'une régénération (nettoyage chimique). Ces opérations se déclenchent automatiquement en fonction d'un comptage de particules ou de perte de charge, respectivement. Le débit de ces eaux est donc discontinu.

La régénération des membranes de nanofiltration et des préfiltres consiste à laver plusieurs fois les membranes pour éliminer les matières en suspension et les sels organiques non éliminés lors du décolmatage. Le lavage comprend deux phases, une phase basique où l'on trempe les membranes dans un détergent pour éliminer les matières organiques, et une phase

acide pour éliminer les sels. Ces eaux sont ensuite neutralisées avant de rejoindre le rejet n°4. Dans le cas des régénérations des préfiltres, cette neutralisation est précédée d'une préneutralisation au bisulfite de sodium pour neutraliser de chlore résiduel présent dans la solution détergente.

Le décolmatage des préfiltres consiste en un décollement des matières grossières qui se sont déposées sur les membranes des préfiltres (formant un « gâteau perméable) par un flux inverse de liquide (eau préfiltrée) assistée par un gaz de décolmatage (air comprimé). Cette opération a pour but de restaurer les performances d'origine des éléments filtrants. Les eaux de décolmatage sont donc des eaux chargées des substances présentes dans l'eau brute auxquelles s'ajoute une fraction des produits nécessaires au prétraitement et au conditionnement des membranes.[Carrasco R., 2003]

Le rejet est muni d'un préleveur automatique réfrigéré asservi au débit permettant de prélever environ 6 litres en 24h. Les analyses d'écotoxicité nécessitant 75 litres et celle de physico chimie 11 litres, nous ne pourrions pas utiliser le préleveur automatique. Des prélèvements ponctuels seront donc effectués toutes les demi-heures durant 7h30 et un échantillon moyen sera réalisé sur cette période. En ce qui concerne les analyses physico chimiques, les produits et sous produits issus de la nanofiltration seront analysés, néanmoins le formaldéhyde, l'acétaldéhyde, le glyoxal et le chlore qui sont principalement des sous produits de la désinfection à l'ozone ne seront pas recherchés dans les rejets car ils sont présents seulement à l'état de trace à cette étape du traitement.



Figure 35: Point de prélèvement du rejet n°4

Figure 36: Point de prélèvement du concentrât



Annexe 19: Impact des rejets de nanofiltration de l'usine de Méry-sur-Oise

Le tableau suivant permet de comparer les valeurs d'écotoxicité minimum trouvées à partir des fiches de sécurité des produits (Base de données Canal'O, INERIS, INRS,...) aux quantités ajoutées pour le traitement de l'eau à Méry-sur-Oise. Ce tableau permet d'avoir une idée globale sur la toxicité des rejets puisque les produits ajoutés pour le traitement de l'eau sont dégradés au fil de la filière et sont fortement dilués dans le milieu récepteur. Seul les phosphonates présents dans l'Hypersperse peuvent être retrouvés tel quel.

Produit	Ecotoxicité aquatique min	Quantité ajoutée
Coagulant WAC HB	100 mg/l	20 mg/l
Acide sulfurique	16 mg/l	50 mg/l
Polymère AN 905	Non disponible	0.1 mg/l
Microsable	Non disponible	4.2 mg/l
Ozone	Non disponible	1.2 mg/l
Hypersperse	Non disponible	2 mg/l
Bisulfite	116 mg/l	3 mg/l
Eau de javel	Non disponible	1.6 mg/l
Soude	55.6 mg/l	6 mg/l

Tableau 18 : Ecotoxicité des produits utilisés dans le traitement de l'eau à Méry-sur-Oise

Les doses de produits ajoutées pour le traitement de l'eau sont bien inférieures aux doses minimum de toxicité trouvées pour les organismes aquatiques sauf pour l'acide sulfurique.

Cependant, les produits de dégradation de ces différents réactifs devront être pris en compte dans l'analyse de l'écotoxicité du rejet :

- Le coagulant WAC HB est retrouvé sous forme particulaire colloïdale ($\text{Al}(\text{OH})_3$) soit soluble ($\text{Al}(\text{OH})_4^-$)² et ($\text{Al}(\text{OH})_2^+$) et également sous forme de sulfate et de chlore.
- L'acide sulfurique est retrouvé sous forme de sulfates
- Le polymère AN 905 est retrouvé sous forme d'acrylamide, et de sodium.
- L'Hypersperse est retrouvé sous forme de phosphore et orthophosphates
- L'ultrasil 110 peut être retrouvé sous forme de sodium libre.
- Le bisulfite peut être retrouvé sous forme de sels de SO_4^{2-} et de Na^+

Si on utilise l'approche PEC, PNEC pour évaluer l'impact du rejet des phosphonates dans l'Oise, avec un débit d'étiage de 259 200 m³/j, un débit de concentrât de 22 000 m³/j, et une concentration en phosphonates de 517.35 µg/l (concentration moyenne obtenue sur les années 1998, 2000 et 2003) on obtient un rapport PEC/PNEC égal à 0.09<1, on peut donc penser qu'il n'y a pas de menace pour le milieu en ne prenant pas en compte les effets de cocktail.

[INERIS., 1994] L'étude écotoxicologique effectuée par l'INERIS confirme que l'impact du concentrât sur la faune et la flore de l'Oise est nul. L'innocuité du rejet a été démontrée par la non toxicité vis-à-vis de *Daphnia magna*, aucune inhibition de croissance de l'algue *Raphidocelis subcapitata* et aucune létalité du poisson testé (*Brachydanio rerio*) sur l'effluent pur. Il est important de noter que ces résultats ont été obtenus à partir d'un concentrât prélevé sur le pilote de nanofiltration du centre d'essai de Méry-sur-Oise, alors que le taux de traitement en hypersperse était au cours de cette période de 3 g/m³. Ces résultats doivent être vérifiés par des analyses réalisées sur l'usine de nanofiltration de Méry-sur-Oise.

Annexe 20: L'usine de Gibraltar

L'eau brute prise en pleine mer et celle du forage sont mélangées à la sortie du forage et sont stockées dans un réservoir durant 2 à 3 heures afin de séparer l'eau des particules les plus grosses comme le sable (Figure 38).

Durant la phase de prétraitement, du chlore, un flocculant dosé à 2 mg/l et de l'hypochlorite de sodium à 0.3 mg/L sont ajoutés. On trouve des résidus de chlore libre en amont des filtres (0.07 à 0.15 mg/l Cl_2) et ils sont absents en aval des filtres, le chlore a été enlevé par l'oxydation de la matière organique et par le bisulfite de sodium. L'eau passe ensuite à travers 3 filtres bicouche (sable et anthracite) fermés. Le rétrolavage des filtres est effectué toutes les 24 heures avec de l'eau de mer et du détergent à pH 10 et les filtres sont lavés un par un. Le bisulfate de sodium et le séquestrant (Genesys 1.8 ppm aminométhylentriphosphonate) sont dosés en amont des deux unités d'osmose inverse afin d'enlever le chlore et de contrôler les doses de séquestrant.

L'eau ainsi prétraitée rejoint ensuite deux filières d'osmose inverse (Figure 37). Chaque filière d'OI est composée de :

- 1 unité sous pression contenant 26 cartouches de filtres (taille des pores 5 μm).
- 1 pompe haute pression et 2 dispositifs de renouvellement de l'énergie
- 8 unités de pression en parallèle chacune contenant 7 modules d'osmose inverse
- 1 réservoir de produits chimiques (bicodes, agents alcalins et acides) pour nettoyer avec une pompe de recirculation.

Les unités d'osmose inverse sont lavées deux fois par an avec des produits chimiques autorisés par la législation anglaise (détergent alcalin : dodecyl sulfate) pour la production d'eau potable et un biocide, le dibromo nitropropionamide (DBNPA) à 400mg/l est utilisé.

En post traitement, 107 mg/l de chlorure de calcium, 40 mg/l de bicarbonate de sodium et de l'hypochlorite de sodium permettant d'obtenir un résiduel en chlore de 0.03 mg/l.

Le concentrât et les eaux de lavage des filtres bicouches et d'osmose inverse sont mélangées et dilués dans l'eau qui déborde du réservoir présent au début de la filière de prétraitement. Ce rejet est envoyé directement en mer via une chute d'eau de 70 m de haut. Les rejets sont effectués à 200 ou 300 mètres des points de prise d'eau. Le rejet est facilement accessible et pourra être prélevé facilement.

Les deux filières d'osmose inverse ont un taux de conversion d'environ 39%, ainsi pour une production de 1200 m^3/j de perméat, le volume de concentrat est de 2000 m^3/j .

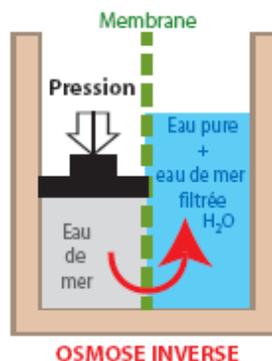


Figure 37: Principe de l'osmose inverse

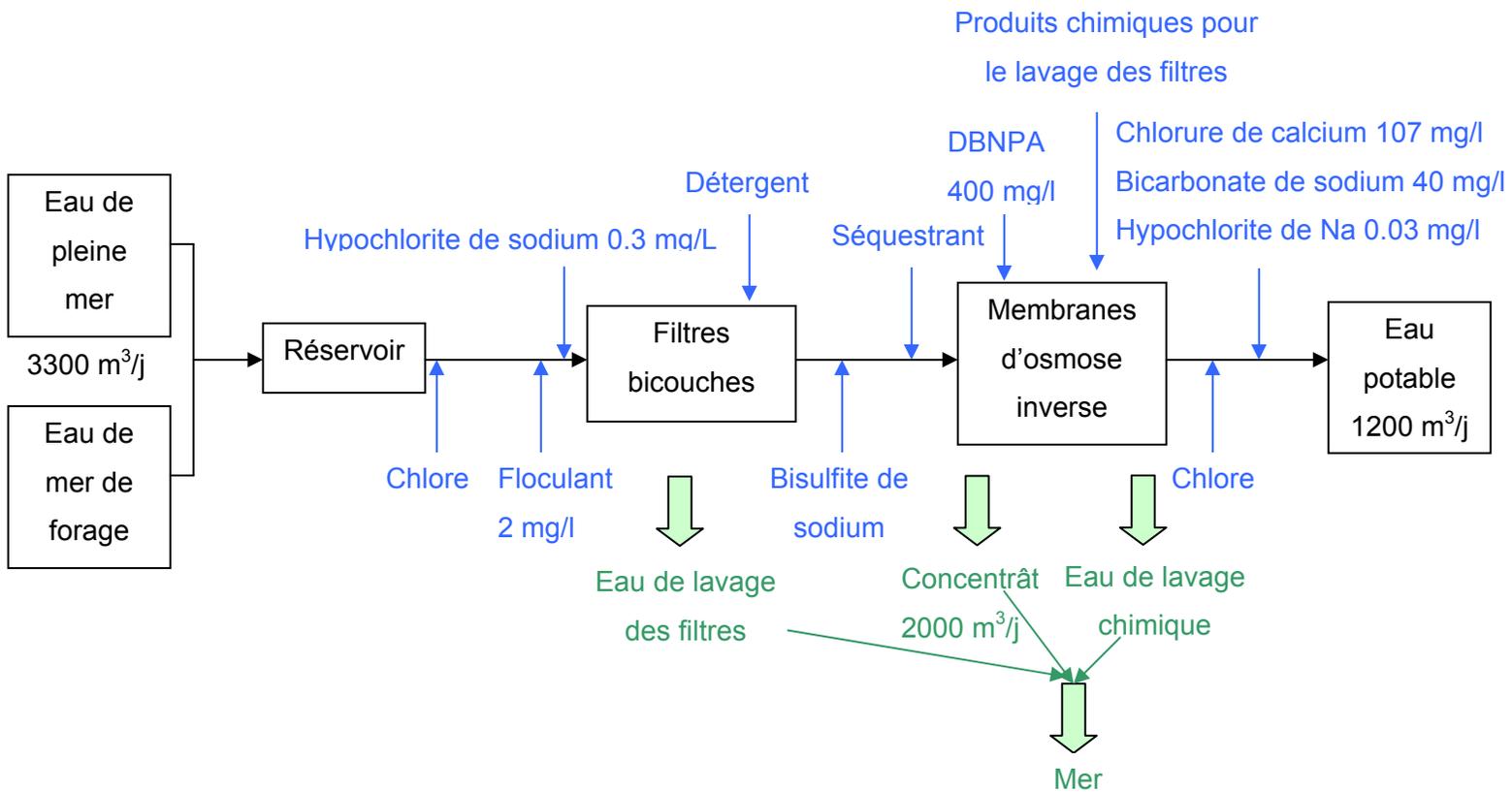


Figure 38: Filière de traitement de l'usine de Gibraltar