

**ENSP**

ÉCOLE NATIONALE DE  
LA SANTÉ PUBLIQUE



*L'harmonie est source de progrès*

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**  
**Formation des Ingénieurs du**  
**Génie Sanitaire**  
**2003-2004**

**Réflexion préalable à la mise en place d'une  
démarche d'analyse de risques sanitaires sur  
des syndicats de production et de distribution d'eau  
potable dans le cadre du décret 1220-2001**

**Présenté par :**

*Cédric Dupuis  
Mastère Juturna « Etudes  
d'impact et Environnement »*

**Lieu du stage :**

*SAUR région centre ouest*

**Accompagnant professionnel :**

*Mr André Larigauderie  
Responsable Traitement Région*

**Référent pédagogique :**

*Mr René Seux  
Responsable du LERES*

---

# Remerciements

---

Je remercie tout d'abord Monsieur Larigauderie, Responsable Traitement Région, pour sa disponibilité, son aide et ses précieux conseils qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

Mes remerciements vont ensuite à Monsieur Carle, Directeur Général de la Région Centre Ouest, et Monsieur Jauffraud, Directeur Délégué à l'Exploitation, pour m'avoir accueilli dans leur service.

J'adresse également mes remerciements aux différents Responsables Exploitation de Centre, à l'ensemble des chefs de Secteur et agents d'exploitation pour les informations et le temps qu'ils m'ont fourni ; ainsi que l'ensemble du personnel de la Direction Régionale Centre Ouest pour leur accueil et leur sympathie.

Enfin, je tiens à remercier, Monsieur Seux, professeur à l'École Nationale de Santé Publique, pour le suivi du travail réalisé et ses conseils prodigués au cours de cette période de fin d'études.

---

# Sommaire

---

<b>PRÉSENTATION DE LA SAUR ET DE LA RÉGION CENTRE OUEST .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>3</b>
<b>I. CONTEXTE D'ETUDE.....</b>	<b>4</b>
<b>I.1. Dispositions réglementaires.....</b>	<b>4</b>
I.1.1 Directive communautaire 98 - 83 .....	4
I.1.2 Décret 1220 - 2001 .....	5
<b>I.2. Enjeux sanitaires et environnementaux .....</b>	<b>6</b>
<b>I.3. Objectif du mémoire et Perspective.....</b>	<b>6</b>
<b>II. REFLEXION METHODOLOGIQUE SUR L'APPLICATION D'UNE DEMARCHE D'ANALYSE DE RISQUE SANITAIRE EN PRODUCTION ET DISTRIBUTION D'EAU POTABLE .....</b>	<b>7</b>
<b>II.1. Présentation schématique des unités de production et de distribution d'eau potable.....</b>	<b>7</b>
II.1.1 Description du système de production.....	7
II.1.2 Description du système d'adduction .....	8
II.1.3 Process et paramètres de qualité .....	10
<b>II.2. Différents systèmes de gestion de risques.....</b>	<b>12</b>
II.2.1 HACCP .....	12
II.2.2 AMDEC.....	12
II.2.3 Drinking Water Quality Management System (DWQMS) .....	13
II.2.4 Water System Plan (WSP).....	15
II.2.5 Study Case of EPA .....	15
<b>II.3. Réflexion méthodologique d'une démarche d'analyse de risque.....</b>	<b>17</b>
II.3.1 Démarches en cours à la Saur région Centre Ouest .....	17
II.3.2 Approche méthodologique .....	17
II.3.3 Approche multicritères et limites .....	24
<b>III. EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE.....</b>	<b>25</b>
<b>III.1. Identification des dangers .....</b>	<b>25</b>
III.1.1 Etude des contaminants microbiologiques potentiels .....	25

III.1.2 Etude des contaminants chimiques potentiels .....	33
III.1.3 Etude des contaminants radioactifs potentiels .....	33
III.1.4 Sélection des dangers .....	33
<b>III.2. Exposition, Risque et Niveau acceptable.....</b>	<b>34</b>
III.2.1 Définition.....	34
III.2.2 Voies d'exposition et risques associés .....	35
<b>III.3. Cartographie et Modélisation des points sensibles du système.....</b>	<b>36</b>
<b>IV. GESTION DU RISQUE SANITAIRE.....</b>	<b>37</b>
IV.1. Actions de maîtrise .....	37
IV.2. Vérification du système et Audit.....	37
IV.3. Plan de surveillance sanitaire : communication et documentation .....	38
<b>V. EXEMPLE D'APPLICATION DE LA METHODOLOGIE : STATION DE LANNAUD .....</b>	<b>39</b>
V.1. Présentation.....	39
V.2. Analyse de risque sanitaire .....	40
V.3. Actions de maîtrise .....	42
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>44</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>45</b>
<b>LISTE DES ANNEXES.....</b>	<b>48</b>

---

## Liste des figures

---

Figure 1 : Répartition de l'activité du groupe Saur.....	2
Figure 2 : Organisation de la région Centre Ouest.....	2
Figure 3 : Réseau réacteur.....	8
Figure 4 : Biofilm.....	9
Figure 5 : Etapes du DWQMS.....	14
Figure 6 : Logigramme de détermination des points critiques.....	21
Figure 7 : Schématisation de l'approche multicritères.....	24
Figure 8 : Filière de traitement de la station de Lanaud.....	40
Figure 9 : Points Critiques de la station de Lannaud.....	41
Figure 10 : Défaillances potentielles de la station de Lannaud.....	42
Figure 11 : Actions de maîtrise de la station de Lannaud.....	43

---

## Liste des tableaux

---

Tableau 1 : Paramètres essentiels de suivi de qualité associés au système de production et de distribution d'eau potable.....	11
Tableau 2 : Présentation des bactéries pathogènes d'origine hydrique et de leurs caractéristiques (1).....	27
Tableau 3 : Présentation des bactéries pathogènes d'origine hydrique et de leurs caractéristiques (2).....	28
Tableau 4 : Présentation des bactéries pathogènes d'origine hydrique et de leurs caractéristiques.....	30
Tableau 5 : Présentation des protozoaires pathogènes d'origine hydrique et de leurs caractéristiques.....	32

---

## Liste des sigles utilisés

---

AMDE : Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité

ARMCANZ : Agricultural and Resource Management Council of Australia and New Zealand

EPA : Environment Protection Agency

HACCP : Hazard Analysis Critical Control Point

IT : Instruction de travail

MQE : Manuel Qualité Environnement

NC : Non Conformité

NHMRC : National Health and Medical Research Council

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

SAUR : Société d'Aménagement Urbain et Rural

SIG : Système d'Information Géographique

VTR : Valeur Toxicologique de Référence

WSP : Water Safety Plans

# PRÉSENTATION DE LA SAUR ET DE LA RÉGION CENTRE OUEST

## Historique

La société Saur, fondée en 1933, exerce le métier de gestionnaire délégué des services d'eau et d'assainissement en France, essentiellement dans des communes de petite et moyenne taille. Dès 1959, le groupe Saur développe son activité à l'international avec la gestion du service des eaux en Côte d'Ivoire.

A partir de 1984, date de son entrée dans le groupe Bouygues, Saur poursuit son développement en France, dans des villes de taille plus importante et dans les métiers du traitement de l'eau (avec Stereau), ainsi qu'à l'international dans plusieurs pays d'Afrique et d'Europe.

Dans les années 90, Saur mène une politique de diversification de ses métiers, notamment dans les secteurs de l'énergie, de la propreté et du multiservice. Le développement à l'international se poursuit également en Afrique, en Amérique du Sud, en Europe et en Asie.

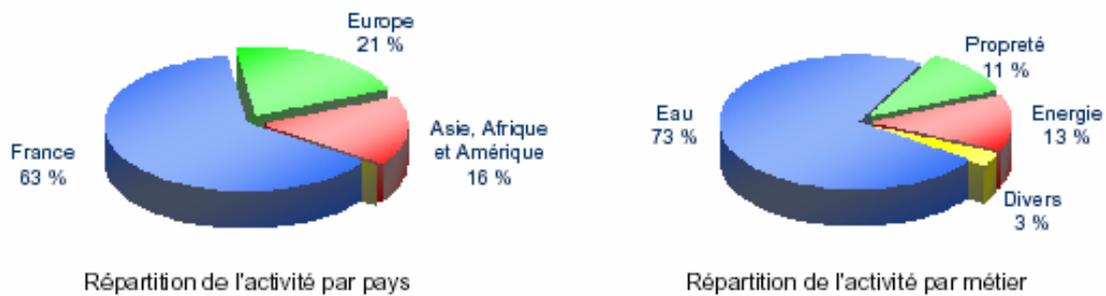
## Organisation

Le groupe Saur est composé de quatre entités principales :

- ✓ Saur France regroupe la gestion des services d'eau et d'assainissement, le traitement et l'élimination des boues d'épuration, et la gestion de golfs publics, pour le compte de 7000 communes françaises et d'industriels.
- ✓ Saur International gère des services d'eau et d'assainissement, la production, le transport et la distribution d'électricité et de gaz, à l'international.
- ✓ Coved a pour activité la collecte, le tri, la valorisation et l'élimination des déchets en France pour 4000 000 habitants ainsi que pour des industriels.
- ✓ Stereau conçoit et construit des ouvrages de traitement d'eau : usines de production d'eau potable, stations d'épuration et équipements d'eaux de process.

A travers le monde, le groupe Saur dessert plus de 47 millions d'habitants :

- ✓ 30,9 millions (dont 6 millions en France) pour la gestion des services d'eau et d'assainissement,
- ✓ 18,8 millions pour la distribution d'électricité,
- ✓ 4,6 millions (dont 4 millions en France) pour la propreté.



**Figure 1 : Répartition de l'activité du groupe Saur**

### Organisme d'accueil : Saur région Centre Ouest

Saur France est divisé géographiquement en 5 régions dont la région Centre Ouest, organisme d'accueil. Cette dernière couvre quinze départements répartis en six centres :



**Figure 2 : Organisation de la région Centre Ouest**

Le mémoire s'est déroulé à la direction régionale de Tours au sein du département expertise dont Mr André Larigauderie, Responsable Traitement Région, fût le référent professionnel.

## INTRODUCTION

La sécurité sanitaire est devenue ces dernières années un sujet de débat majeur, dans lequel chaque individu se sent concerné. L'eau de distribution publique est probablement un des aliments les plus contrôlés avec des spécificités réglementaires basées sur une soixantaine de paramètres et une évolution mettant en avant la notion de risque sanitaire dans le Code de la Santé Publique intégrant les eaux destinées à la consommation humaine.

Le problème de pollution dans l'environnement, et dans l'eau potable, reste d'actualité. L'enjeu demeure plus que jamais de garantir la qualité de l'eau et la sécurité alimentaire de leurs consommateurs. Si l'on convient que le risque nul n'existe pas, alors, il s'agit avant tout de savoir mesurer les risques pour mieux les gérer. Il s'agit également d'être capable de hiérarchiser les risques, pour, d'une part, y apporter des réponses proportionnées, et d'autre part, être capable d'établir une communication transparente et utile aux parties intéressées.

Toutefois, l'eau de distribution publique reste un produit local, dépendant complètement de facteurs environnants, tels que la qualité de la ressource, son environnement, les installations de production – distribution, et dont l'impact sanitaire relatif dépend également de la population locale et de ses habitudes alimentaires.

Dans tous les cas, la qualité de l'eau doit être garantie non seulement à la sortie de l'usine mais jusque chez le consommateur (directive 89 / 83 : l'eau doit respecter des valeurs paramétriques « aux points où elle est normalement utilisée pour la consommation »).

Ce mémoire présente une réflexion méthodologique d'une démarche d'analyse de risque sanitaire applicable à l'eau potable. L'approche qualitative retenue aborde les grandes étapes d'une évaluation et gestion de risque : identification et caractérisation des dangers, évaluation de l'exposition et caractérisation du risque.

La réflexion abordée ici a pour objectif final d'assurer la qualité et la sécurité sanitaire dans la production et la distribution d'eau potable par une approche multicritère du risque sanitaire dans les différentes unités du système et de modéliser les points critiques du système « eau potable » en vue d'une surveillance effective de la qualité.

## I. CONTEXTE D'ETUDE

Tout gestionnaire d'un service d'eau se doit d'assurer l'approvisionnement en eau dans de bonnes conditions de qualité, de quantité mais aussi de sécurité.

Garantir la sécurité sanitaire ne s'avère pourtant pas souvent chose aisée du fait de la vulnérabilité de la plupart des adductions d'eau et des conséquences graves pouvant résulter de l'apparition d'évènements non prévus ou non maîtrisables.

Dans ce contexte de sécurité sanitaire, un double défi se présente à la SAUR :

- ↳ *Sécurité du service* : garantir l'approvisionnement quantitatif de tous les usages à impact sanitaire
- ↳ *Sécurité du produit* : garantir la qualité sanitaire du produit

Pour ce faire, et dans le cadre de la législation communautaire et nationale, la SAUR a engagé une réflexion d'approche méthodologique d'analyses de risques applicables à leur système de production et de distribution de l'eau potable.

### I.1. Dispositions réglementaires

#### I.1.1 Directive communautaire 98 - 83

Les réseaux d'eau potable sont constitués d'une partie amont placée sur le domaine public et d'une partie aval située sur le domaine privée. Aujourd'hui, la réglementation sanitaire affiche clairement ses objectifs de résultats : l'eau doit respecter les valeurs paramétriques « aux points où elle est normalement utilisée pour la consommation » ; on doit comprendre le robinet de l'utilisateur et plus précisément les points d'eau destinés à l'alimentation (Pissavy L., 2002).

La directive européenne du 3 novembre 1998 est, à cet égard, à la fois précise et démonstrative :

- ✓ Il s'agit de « protéger la santé des personnes des effets néfastes de la contamination des eaux destinées à la consommation humaine... »
- ✓ Il est admis que « la qualité des eaux peut être influencée par le réseau de distribution privé... »

- ✓ Il convient donc de contrôler la qualité des eaux « aux points où, à l'intérieur de locaux ou d'un établissement, elles sortent des robinets qui sont normalement utilisés pour la consommation humaine. »

Ce texte communautaire fonde ses principes et normes de qualité sur la base des recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). L'eau potable est un produit alimentaire de première nécessité et ces exigences représentent bien évidemment une avancée en matière de santé publique (Mariet C., 2001).

### I.1.2 Décret 1220 - 2001

Le décret 1220 – 2001 (codifié en août 2003 R 1321 du code de santé publique) transpose en droit national le contenu de la directive. Celui-ci s'applique aux eaux destinées à la consommation humaine définies dans l'article 1<sup>er</sup> comme :

- ✓ Toutes les eaux qui, soit en l'état, soit après traitement, sont destinées à la boisson, à la cuisson, à la préparation d'aliments ou d'autres usages domestiques, qu'elles soient fournies par un réseau de distribution, à partir d'un camion-citerne ou d'un bateau-citerne, en bouteilles ou en conteneurs, y compris les eaux de source
- ✓ Toutes les eaux utilisées dans les entreprises alimentaires pour la fabrication, la transformation, la conservation ou la commercialisation de produits ou de substances, destinées à la consommation humaine, qui peuvent affecter la salubrité de la denrée alimentaire finale.

Le suivi sanitaire de la qualité des eaux d'alimentation comprend l'(auto-)surveillance dont l'organisation relève de la responsabilité du producteur - distributeur d'eau et le contrôle sanitaire mis en œuvre par la DDASS.

L'article 18 précise, dans ses paragraphes I et III, les dispositions générales relatives à la surveillance. Elles comprennent : l'examen régulier des installations, la réalisation de programmes de tests ou d'analyses, la tenue d'un fichier sanitaire. Le responsable de l'installation doit tenir à disposition du préfet les résultats de la surveillance et l'informer des incidents sanitaires. Pour les installations desservant plus de 3 500 habitants, le responsable adresse chaque année au préfet un bilan de fonctionnement et indique le plan de surveillance défini pour l'année suivante.

Le contrôle sanitaire décrit dans les articles 11 à 17 comporte une inspection des installations, la réalisation d'un programme d'analyse adaptée en fonction des caractéristiques des installations et des risques sanitaires. Selon les constats effectués, des actions doivent être mises en œuvre si nécessaire.

## **I.2. Enjeux sanitaires et environnementaux**

La qualité de l'eau de boisson distribuée aux consommateurs constitue depuis toujours un élément très important pour la protection de la santé publique. Le principal risque pour la santé lié à une eau de boisson demeure la contamination microbiologique et à moindre le risque chimique.

Pour garantir la qualité microbiologique de l'eau, le principe est de contrôler l'absence des bactéries indicatrices d'une contamination fécale (ces bactéries, habituellement en plus grand nombre par rapport aux pathogènes, sont beaucoup plus aisées à mettre en évidence que les pathogènes eux mêmes dont la détection est souvent coûteuse, voire impossible en routine).

Le dispositif actuel garantissant la qualité microbiologique de l'eau de boisson connaît certaines limites : par exemple, une eau de robinet, traitée par le chlore dans laquelle aucun indicateur bactérien n'est trouvé, n'est pas nécessairement exempte de tout pathogène (Gofti & al., 1999).

Dans ce contexte sanitaire et réglementaire, la démarche d'évaluation de risque, et notamment ERM (évaluation du risque microbiologique), permettrait de se préoccuper des impacts sanitaires potentiels liés aux teneurs de pathogènes présents dans les eaux destinées à la consommation humaine en définissant des niveaux de risques jugés comme négligeable, y compris pour les populations les plus sensibles (Gofti & al., 1999).

## **I.3. Objectif du mémoire et Perspective**

L'objectif du mémoire est de définir une méthodologie d'analyse de risque sanitaire, tenant compte de l'approche multicritère, en envisageant son intégration dans une démarche intégrée Qualité-Sécurité-Environnement, et d'élaborer les documents de liaison et de transfert avec les organismes de contrôle (DGS, DDASS).

Une méthodologie de détermination des plans d'auto surveillance tenant compte de l'analyse de risque sanitaire et de la surveillance sanitaire officielle sera proposée à l'issue de la démarche.

## II. REFLEXION METHODOLOGIQUE SUR L'APPLICATION D'UNE DEMARCHE D'ANALYSE DE RISQUE SANITAIRE EN PRODUCTION ET DISTRIBUTION D'EAU POTABLE

### II.1. Présentation schématique des unités de production et de distribution d'eau potable

#### II.1.1 Description du système de production

Le traitement d'une eau brute dépend de sa qualité, laquelle est fonction de son origine et peut varier dans le temps. L'eau à traiter doit donc être régulièrement analysée car il est primordial d'ajuster le traitement d'une eau à sa composition et, si nécessaire, de le moduler dans le temps en fonction de la variation observée de ses divers composants.

Le traitement classique et complet d'une eau à potabiliser s'effectue en plusieurs étapes (Annexe 1) :

- 1. Prétraitement** : cette étape consiste en une pré-oxydation et en une reminéralisation si nécessaire. La pré-oxydation est une première transformation des éléments contenus dans l'eau brute ainsi que l'élimination de certaines molécules (fer, manganèse,...). La reminéralisation est nécessaire afin de pallier la carence en sels minéraux (bicarbonates) de l'eau,
- 2. Coagulation- Flocculation** : Les colloïdes, présents dans l'eau, forment des suspensions très stables qu'il convient de déstabiliser par l'injection d'un coagulant. Au cours de cette étape, l'ajout d'un agent de flocculation dans la cloche du décanteur permet de former des floccs ce qui améliore nettement la décantation,
- 3. Filtration sur sables** : L'eau est filtrée par simple gravitation à travers du sable permettant d'éliminer les particules résiduelles, les plus fines,
- 4. Inter-Ozonation** : le pouvoir d'oxydation permet de transformer les germes pathogènes, certains pesticides et détergents, les algues et les phénols
- 5. Filtration sur CAG** : Ce type de filtre est utilisé en traitement d'affinage afin de fixer les composés organiques dissous qui ont échappé à la dégradation biologique naturelle (auto-épuration des cours d'eau) : micro-polluants, substances organoleptiques. Il permet d'absorber certains métaux lourds présents dans l'eau à l'état de trace,

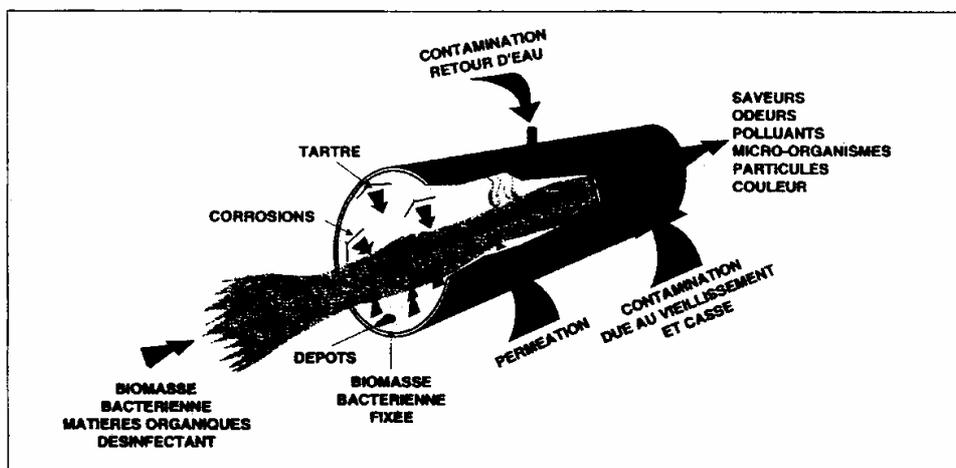
**6. Désinfection** : avant d'être stockée, l'eau subit une dernière désinfection afin de maintenir la qualité bactériologique et prévenir d'éventuelles contaminations lors du transport vers les lieux de distribution.

Ce type de traitement est principalement appliqué aux eaux de surface. Dans le cadre d'eau souterraine et d'une distribution en milieu rural isolé, le traitement est moins complexe ; celui-ci correspond en général en une étape de neutralisation (filtration sur un produit alcalino-terreux) suivi d'une désinfection au chlore.

Cependant, d'autres process de traitement existent plus spécifiques de certains paramètres : Fer (Déferrisation / Filtration sur sables / Désinfection), Nitrates (Résine / Désinfection), Dureté (Résine / Désinfection), Arsenic (Résine / Désinfection)...

### II.1.2 Description du système d'adduction

Le réseau de distribution de l'eau potable est souvent décrit comme un véritable réacteur (figure 3) où l'eau et son contenant sont le siège d'interactions physico-chimiques et biologiques (Celerier et Faby, 2001).



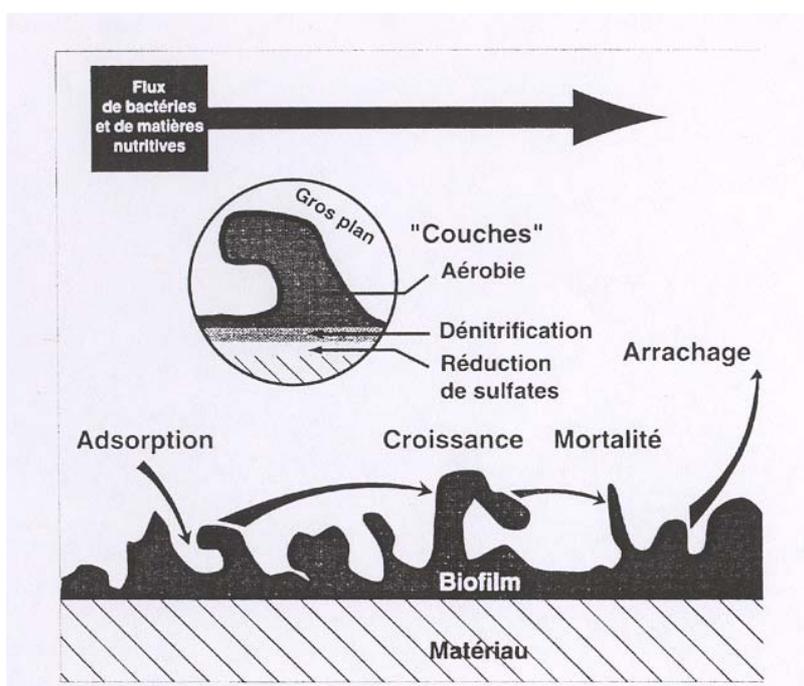
**Figure 3 : Réseau réacteur**

*Les phénomènes biologiques* : les microorganismes ne peuvent se développer et survivre dans le réseau que si celui-ci présente des caractéristiques nutritives et physico-chimiques spécifiques. La biomasse libre se fixe sur les parois des canalisations et constituera un premier support pour le développement de couches supérieures plus actives.

Si ces microorganismes rencontrent des conditions satisfaisantes, le développement du biofilm peut avoir lieu et ce dernier sera alors constitué d'espèces résistantes.

Le biofilm devient alors un véritable système dynamique où s'installe une chaîne alimentaire complexe, et le lieu privilégié de métabolisme, reviviscence, croissance et mort (Celerier et Faby, 2001).

A l'interface solide-liquide, le biofilm représente une protection à la fois hydraulique et chimique puisqu'il limite la diffusion des désinfectants tels que le chlore (figure 4), protégeant certains microorganismes du désinfectant résiduel ou même d'un nettoyage complet (encapsulation, attachement...).



**Figure 4 : Biofilm**

*Les phénomènes physico-chimiques* : différents paramètres influencent la qualité de l'eau du réseau dont notamment le pH, la température, la matière organique et l'oxygène dissous.

Le pH est important pour le contrôle de la corrosion, l'agressivité de l'eau, l'action du désinfectant et la précipitation des éléments dissous. Il peut varier le long de la distribution du fait d'une évolution de la concentration du CO<sub>2</sub> dissous, ou bien parce que l'eau traitée n'était pas forcément à l'équilibre calco-carbonique en sortie de station.

La température peut varier de plusieurs degrés pendant le transit en réseau. Une augmentation de celle-ci peut favoriser des goûts ou des odeurs désagréables.

De plus, elle accélère la plupart des réactions physico-chimiques et biologiques dans le réseau, influence la croissance bactérienne, dissipe l'effet du désinfectant résiduel en agissant sur les constantes d'équilibre et accélère la corrosion.

Source nutritive essentielle pour la prolifération bactérienne, le contenu en éléments organiques carbonés est aujourd'hui considéré comme un facteur primordial dans la maîtrise de la qualité microbiologique de l'eau dans le réseau.

Une consommation de la matière organique s'accompagne d'un accroissement de la densité bactérienne présente du niveau du biofilm (Celerier et Faby, 2001). De l'état de saturation à l'entrée du réseau, l'oxygène dissous peut considérablement diminuer en cours de distribution avec des réactions d'oxydation ou une prolifération bactérienne. Toute baisse de la teneur en oxygène dissous détectée sur le réseau peut alors être interprétée comme un signe de croissance biologique.

Dans le chapitre III, une description des contaminants microbiologiques et chimiques sera réalisée en vu de la réflexion méthodologique de l'analyse de risque sanitaire.

### II.1.3 Process et paramètres de qualité

En France, l'eau destinée à la consommation humaine doit répondre à de nombreux critères dont ceux de santé publique (une eau sans risque pour la santé) par le respect de paramètres de qualité.

De manière à respecter les limites de qualité, chaque étape du traitement permet de réduire ou d'éliminer un élément donné par l'utilisation de réactifs appropriés (cf. Tableau 1) afin que l'eau produite réponde aux critères de potabilité.

L'ensemble des paramètres cités dans le décret 1220-2001 et en partie présentée dans le tableau 1 (paramètres essentiels de suivi de qualité) seront étudiés dans l'étape d'identification des dangers, puisque tout dépassement de limite d'un paramètre physico-chimique sera considéré comme un danger.

	CARACTERISATION DU SYSTEME DE PRODUCTION ET DISTRIBUTION	PARAMETRES DE QUALITES ASSOCIES AU SYSTEME	REACTIFS DE TRAITEMENT ASSOCIES
<b>Traitement</b>	<i>Filière</i> : - Coagulation/Floculation - Filtration - Ozonation - CAG - Désinfection  - Réservoir	- pH, turbidité, alcalinité, débit charge net, fer, manganèse, MO, TAC - Turbidité, pH, débit, perte de charge, fer-manganèse ou aluminium, ion ammonium - Pesticides, indicateurs microbiologiques, bromates - Pesticides, - pH, turbidité, température, bactériologie, TAC, TH, NH <sub>4</sub> , désinfectant résiduel, métabolites de désinfection - /	- Sulfate ou polychlorure d'aluminium, CAP - Acide phosphorique, eau de chaux - Ozone en pré oxydation + interozonation - / - Chlore gazeux ou bioxyde de chlore - /
	<i>Surveillance</i> : - Automates - Supervision - Contrôle laboratoire	/	/
<b>Distribution</b>	<i>Canalisations</i> : - Taille - Etendu du réseau - Type de matériel - Age du matériel	- pH, O <sub>2</sub> dissous, M.O., température, turbidité, TAC, TH, fer, manganèse, aluminium, plomb, bactériologie	/
	<i>Conditions hydrauliques</i>	- Débit, pression, temps de séjours	/
	<i>Désinfection</i> : - Résiduelle - Secondaire - Métabolites (THM)	- Concentration libre et total en désinfectant, THM ou chlorites	Chlore ou bioxyde de chlore
<b>Consommateurs</b>	<i>Particuliers</i>	} Turbidité, pH, éléments chimiques, bactériologies	/
	<i>Sites industrielles</i>		
	<i>Etablissements et Populations sensibles</i> : - centre hospitalier - clinique - nurserie - thermalisme - population à risque médical		

**Tableau 1 : Paramètres essentiels de suivi de qualité associés au système de production et de distribution d'eau potable**

## **II.2. Différents systèmes de gestion de risques**

### **II.2.1 HACCP**

L'HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point) est née aux Etats-Unis de la synthèse de diverses méthodes de prévention des risques. Sa traduction la plus juste est analyse des risques et identification des points critiques pour leur maîtrise. Cette méthode a été développée en 1971, par la firme Pillsbury, qui acceptant de fabriquer des aliments pour astronautes voulut prendre un maximum de précaution quant à leur qualité sanitaire. En 1993, la communauté européenne choisit de recommander son utilisation pour la fabrication de denrées alimentaires (Directive 93 – 43).

L'HACCP est une approche systémique de la maîtrise des dangers microbiologiques, physiques et chimiques (Annexe 2). Elle est fondée sur sept « principes » :

1. Identification des dangers, de leur occurrence et des mesures préventives associées à une production, de la matière première de consommation,
2. Détermination des points critiques (CCP) pour la maîtrise des dangers,
3. Etablissements des limites critiques de maîtrise des CCP,
4. Détermination et mise en place de procédures écrites pour la surveillance et la maîtrise des CCP,
5. Définition des actions correctives appropriées à engager lorsque les résultats de la surveillance indiquent que les limites critiques d'un CCP sont dépassées,
6. Etablissement d'un système d'enregistrement qui documente le plan HACCP
7. Etablissement des procédures de vérification et de validation du système HACCP

### **II.2.2 AMDEC**

L'AMDE (Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets) est une méthode d'analyse préventive qui recense et met en évidence les risques potentiels. Applicable à un produit, un service, un procédé ou un projet, elle permet d'en optimiser la fiabilité en détectant les erreurs à un stade précoce et en les prévenant.

Développé à l'origine dans l'industrie aéronautique, dans les années 60, elle est rapidement devenue indispensable dans des domaines tels que l'aéronautique ou le nucléaire. L'AMDE fait partie intégrante des méthodes de conception dans l'industrie automobile, chimique (Garin, 1994).

Une des extensions logiques de l'AMDE est l'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité (AMDEC) qui ajoute la quantification des risques et permet donc de les hiérarchiser, afin d'agir plus efficacement.

Cette démarche est basée sur les étapes suivantes (Annexe 3) :

1. Définition de l'objectif,
2. Constitution d'une équipe,
3. Préparation de l'étude AMDEC (champ et délai de l'étude, décomposition fonctionnelle du produit ou procédé, collecte des données),
4. Recherche et analyse des défaillances potentielles,
5. Evaluer les risques des défaillances par la détermination de la criticité,
6. Action corrective suivie de la réévaluation de la criticité, si la criticité calculée est supérieure à un seuil fixé comme objectif,
7. Validation des résultats

De plus, l'étape clef de cette méthodologie est la détermination de la criticité, indice calculé comme suit :

$$C = F \times G \times D$$

Avec :

- ↪ **F** : la *fréquence* de survenue de la défaillance,
- ↪ **G** : la *gravité* de la défaillance par rapport aux conséquences qu'elle engendre,
- ↪ **D** : la *défectabilité* de la défaillance

### II.2.3 Drinking Water Quality Management System (DWQMS)

Ce système de gestion développé par le NHMRC (National Health and Medical Research Council) et ARMCANZ (Agricultural and Resource Management Council of Australia and New Zealand) en 1996 est basé sur la gestion qualité spécifique aux industries de traitement d'eau et sur l'approche de gestion de risque et ceux de la source jusqu'aux consommateurs. C'est un système intégré d'approches des paramètres clefs garantissant la sécurité et la qualité de l'eau potable (NHRMC / ARMCANZ, 2002).

L'objectif est de permettre une compréhension de l'ensemble du système, des évènements pouvant modifier la qualité de l'eau et des contrôles opérationnels nécessaire au maintien des paramètres de qualité et de sécurité (Annexe 4).

Le DWQMS inclue 12 éléments de bonne pratique pour la gestion de l'eau potable :

<p><b>1. Engagement vers une gestion</b> <i>Politique de qualité</i> <i>Partenariat avec les organismes d'Etat</i></p> <p><b>2. Evaluation du système</b> <i>Analyse du système</i> <i>Revue des données analytiques</i> <i>Identification des dangers et Evaluation de risque</i></p> <p><b>3. Planification - Stratégies préventives du DWQMS</b> <i>Barrières multiples</i> <i>CCP</i></p> <p><b>4. Procédures opérationnelles et Contrôle du process</b> <i>Procédures opérationnelles</i> <i>Capacité d'équipement</i> <i>Matériels et Réactifs</i> <i>Surveillance opérationnelle</i> <i>Action corrective</i></p> <p><b>5. Vérification de la qualité de l'eau</b> <i>Surveillance de la qualité de l'eau</i> <i>Satisfaction du consommateur</i> <i>Evaluation à court terme des résultats</i> <i>Action corrective</i></p>	<p><b>6. Gestion d'incidences et de crises</b> <i>Communication</i> <i>Protocole d'incidences et de crises</i></p> <p><b>7. Vigilance du personnel</b> <i>Implication du personnel</i> <i>Formation du personnel</i></p> <p><b>8. Partenariat et Vigilance de la population</b> <i>Consultation de la population</i> <i>Communication</i></p> <p><b>9. Recherche et Développement</b> <i>Etudes d'investigation et surveillance</i> <i>Validation des process</i> <i>Design des équipements</i></p> <p><b>10. Documentation</b> <i>Documentation et enregistrements</i></p> <p><b>11. Evaluation et Audit</b> <i>Evaluation à long terme des résultats</i> <i>Audit du système de gestion</i></p> <p><b>12. Amélioration continue</b> <i>Revue de direction</i> <i>Plan d'amélioration de la qualité</i></p>
---	--

**Figure 5 : Etapes du DWQMS**

Tous ces éléments sont inter-reliés et chacun a un rôle de soutien pour l'efficacité des autres (NHRMC / ARMCANZ, 2002). Par exemple, l'engagement, la formation, la communication et la documentation sont intégralement nécessaires à la plupart des étapes.

## II.2.4 Water Safety Plan (WSP)

Développé par l'OMS, l'objectif du WPS est d'assurer une eau potable sûre au travers de bonnes pratiques :

- ↪ Prévenir les sources d'eau de toutes contaminations,
- ↪ Traiter l'eau de manière à réduire ou à éliminer les contaminations qui pourraient être présentes pour répondre aux critères de qualité,
- ↪ Prévenir une recontamination durant le stockage, la distribution de l'eau potable.

Pour atteindre ces objectifs, il est nécessaire de mettre en place (WHO, 2002) :

- ↪ Un groupe de travail comprenant la spécificité du système,
- ↪ Identifier où la ou les contaminations peuvent surgir dans le réseau et comment y répondre,
- ↪ Valider les méthodes employées pour le contrôle des dangers,
- ↪ Mettre en place un système de surveillance et d'actions correctives
- ↪ Vérifier périodiquement que le WSP est correctement appliqué et suffisamment performant pour répondre aux critères de qualité.

Cette méthodologie WSP est basée principalement sur les étapes d'identification des dangers et points critiques du HACCP et sur un programme « support ». Ce dernier regroupe notamment les équipements utilisés, l'environnement opérationnel et le personnel technique de manière à ce qu'il ne devienne pas une source additionnelle de danger potentiel (Annexe 5). Dans la plupart des cas, ce programme inclura des mesures de contrôle puisque les procédures opérationnelles, la gestion et les pratiques d'hygiène apparaissent comme les éléments essentiels du programme.

## II.2.5 Study Case of EPA

Cette étude de cas est un travail conjoint entre l'EPA et l'AwwaRF (Awwa Research Foundation), réalisé en 2003 (EPA / Awwa RF, 2003).

L'objectif de ce projet est évalué la faisabilité d'utilisation du logiciel PipelineNet, logiciel de modélisation du système de distribution d'eau potable selon les différents usages de cette eau. PipelineNet permet donc de surveiller et de projeter la propagation de contaminants potentiellement introduits dans le réseau d'adduction.

Il propose ainsi une réponse en cas de situation d'incidence ou de crise, et de déterminer l'emplacement optimal des instruments de surveillance.

L'approche de ce projet était de développer un modèle de simulation pour East Bay Municipal Utility District (EBMUD) en utilisant PipelineNet. Ce modèle était utilisé comme une étude de cas en vue de développer une méthodologie pour les stations de surveillance locale basée sur une approche multicritère (débit, pression, qualité de l'eau, populations sensibles...) et hiérarchisée.

Suite à cette étude de cas, les trois volets suivants ont pu être développés :

**1. Localiser les points de surveillance dans le réseau de distribution.** La sélection appropriée des emplacements devrait refléter les considérations et les priorités d'utilisation incluant :

- ↳ La protection des populations à risques,
- ↳ La surveillance de la qualité de l'eau au ou près du point vulnérable à une contamination,
- ↳ La réponse à tout incident,

**2. Fréquence et durée de surveillance.** Ils dépendent de plusieurs facteurs et devraient inclure les variations dues à :

- ↳ L'intention de rendre performant le balayage des paramètres de qualité du réseau,
- ↳ L'intention de développer une réponse à une contamination connue ou suspectée,

**3. Techniques de surveillance et Paramètres de qualité de l'eau :**

- ↳ Définir le ou les paramètres de qualité à suivre,
- ↳ Savoir interpréter les variations des paramètres clés de qualité,
- ↳ Connaître les procédures d'échantillonnage, les modalités de surveillance et les méthodes analytiques à utiliser pour identifier les variations.

## **II.3. Réflexion méthodologique d'une démarche d'analyse de risque**

### **II.3.1 Démarches en cours à la Saur région Centre Ouest**

Depuis plusieurs années, les entreprises de toute nature, et particulièrement les Installations Classées Pour l'Environnement (ICPE) intègrent le domaine de la qualité et de l'environnement dans leur stratégie de développement.

Pour ce faire, les certifications ISO 9001 et ISO 14001 ont permis de répondre aux exigences de SAUR région centre ouest en matière de qualité et d'environnement avec un manuel qualité environnement (MQE), base du système documentaire.

Ce dernier a pour objet de décrire les dispositions générales prises pour obtenir et assurer la qualité de ses prestations dans le respect de l'environnement et pour la satisfaction de ses clients. Il est de ce fait l'expression de la politique qualité et environnement de l'entreprise.

Il expose les réponses aux exigences de la norme ISO 9001 (version 2000) relative au système de management de la qualité et de la norme ISO 14001 (version 1996) relative au système de management environnemental, définit les rapports entre les différents processus de la région et les principales interfaces avec le siège de Saur France, et crée le lien entre les différents documents qui constituent le système intégré du management qualité environnement.

### **II.3.2 Approche méthodologique**

La réflexion méthodologique présentée ci-dessous prend en compte le système comme une seule entité (production et distribution). Celle-ci s'appuie sur la détermination des points critiques de l'HACCP et le principe de criticité AMDEC.

#### **II.3.2.1 Principe**

De manière à identifier le ou les dangers éventuels associés à la production et la distribution d'eau potable (Défaillances potentielles et points critiques), et dans la continuité de la démarche qualité (HACCP, ISO 9001), la méthodologie à cette étape s'appuie sur les phases suivantes :

1. Décrire l'unité de production et le réseau associé,
2. Définir les dangers potentiels à chaque étape,
3. Définir les CCP et leur criticité,
4. Définir les défaillances potentielles et leur criticité,
5. Planifier et mettre en œuvre les actions correctives et les mesures préventives,
6. Vérifier l'efficacité des mesures prises.

Le principe méthodologique repose sur deux critères : dangers et défaillances. La détermination de ces derniers permet de prendre le système dans son ensemble (du traitement jusqu'au consommateur) par approche des paramètres de qualité.

Les étapes 5 et 6 sont décrites respectivement dans le chapitre IV.

Remarque : Comme décrit dans le chapitre II, différents types d'unité de production sont utilisés par la région centre ouest. Dans ce cadre, tous les systèmes de traitement feront chacun l'objet d'une démarche distincte d'analyse.

### II.3.2.2 Description méthodologique

#### Décrire l'unité de production et le réseau associé :

La description de l'unité de production et du réseau associé permet de définir les différentes étapes du process en vue de la détermination des ponts critiques du système.

Cela se traduit par la schématisation des étapes de traitement selon les différents modes de fonctionnement des installations. Elle s'accompagne de la détermination des fonctions de chaque étape afin de faciliter l'analyse des causes d'apparition des dangers.

#### Définir les dangers potentiels à chaque étape :

Les dangers potentiels sont classés en trois catégories : physico-chimique, biologique et radiologique. Leur identification fait appel aux éléments historiques (non-conformités, incidents), à l'état des connaissances actuelles.

La définition des dangers est alors basée sur les paramètres de qualité tels que définis par le décret. Tout dépassement des valeurs fixées par le décret 1220-2001 sur les paramètres de qualité est défini comme un danger.

## Définir les PCC :

### ↳ *Cotation de la criticité*

Il s'agit d'évaluer à cette étape le risque de dépassement de la valeur fixée par décret à chaque étape du processus. Pour ce faire, le Niveau de Risque pour chaque paramètre identifié est alors calculé à chaque point de contrôle, selon la formule :

$$R = P \times G$$

- Avec **P : Probabilité d'occurrence** du danger

<b>Très forte</b>	4	Permanent (conformité < 50% du temps)
<b>Forte</b>	3	Régulier – Cyclique (conformité entre 50% et 80% du temps)
<b>Faible</b>	2	Accidentel (conformité du paramètre > 80% du temps)
<b>Très faible</b>	1	Jamais observé 0%

- Avec **G : Gravité et impact sanitaire**

<b>Très forte</b>	4	Paramètre dont le non respect des normes de qualité engendre des problèmes de sécurité sanitaire immédiats
<b>Forte</b>	3	Paramètre dont le non respect des normes de qualité implique des problèmes de sécurité sanitaire
<b>Faible</b>	2	Paramètre dont le non respect des normes de qualité (référence ou limite de qualité) peut présenter un risque sanitaire en cas d'exposition prolongée
<b>Très Faible</b>	1	Paramètre qui ne présente pas de risque sanitaire mais qui entre en compte dans l'appréciation de l'eau (goût, couleur, odeur,..)

### Interprétation :

- Danger mineur : si  $R < 5$
- Danger majeur : si  $R > 5$

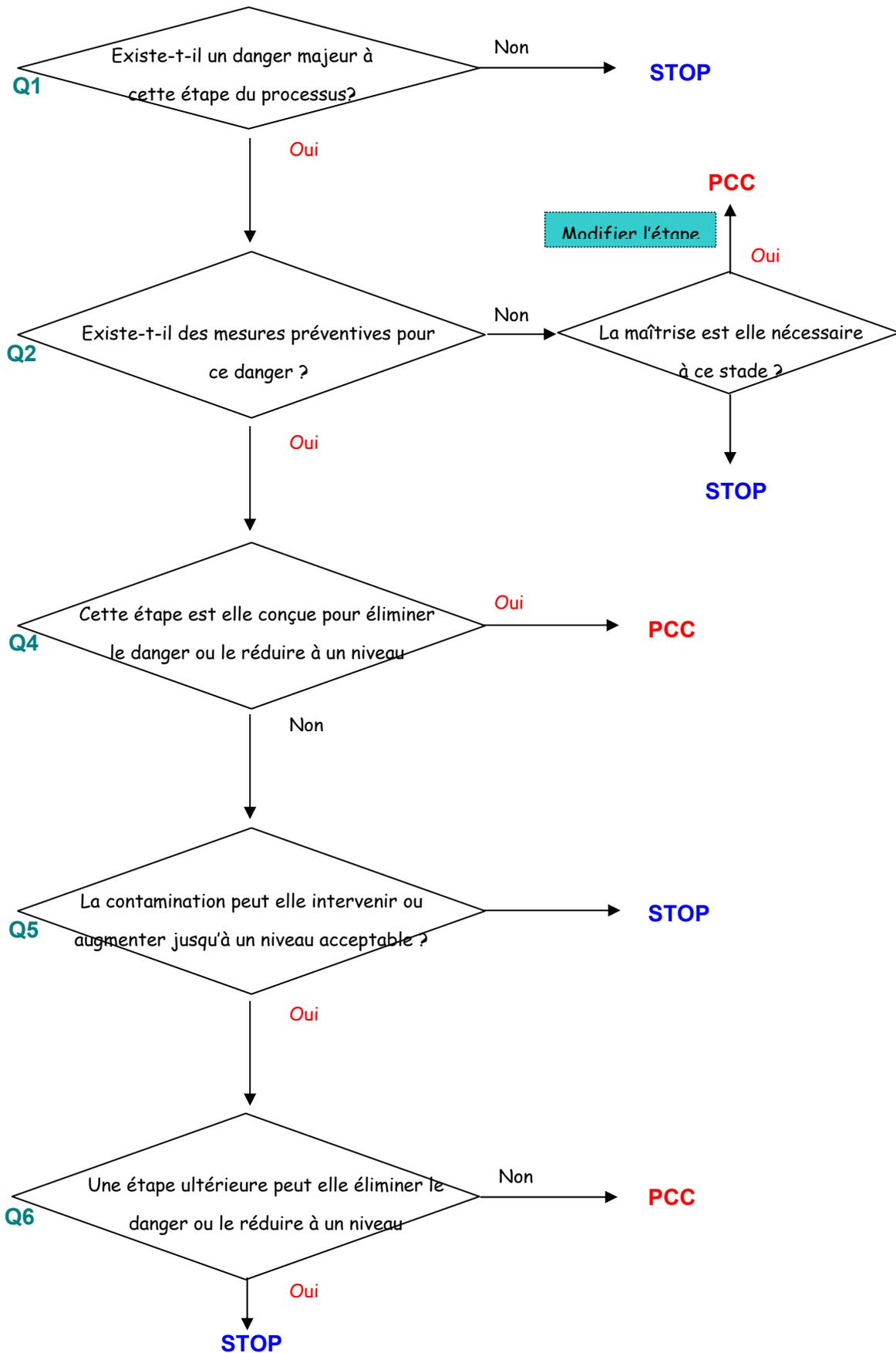
Remarque : La probabilité d'occurrence P est définie comme la somme des durées de dépassements des LQ ou RQ / 365 jours pour chaque point de mesure.

Ceci ne peut s'appliquer directement qu'aux éléments physico-chimiques et radiologiques. Pour les éléments microbiologiques retenus, le dépassement des paramètres microbiologiques est le point de référence. Cependant, ceci n'exclut pas en cas d'absence d'indicateurs bactériens la présence de pathogènes.

#### ↳ *Détermination des points critiques*

Les points critiques (PCC ou CCP) sont déterminés à partir de l'identification des dangers majeurs à chaque étape et ils tiennent compte des fonctions des étapes de processus et de leur interaction.

La méthodologie s'appuie sur un mécanisme d'aide à la décision de ces points de contrôles critiques afin d'identifier les lieux où les dangers doivent être maîtrisés (cf. figure ci-dessous).



**Figure 6 : Logigramme de détermination des points critiques**

### Déterminer les défaillances potentielles et leur criticité :

La défaillance potentielle est définie comme la cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise. Elle correspond à un passage d'un état à un autre, par opposition à une panne qui est un état (Norme X 60-500).

L'analyse consiste donc à recenser de façon la plus complète possible tous les modes de défaillances plausibles et potentiels de l'entité analysée.

#### ↳ *Cotation de la criticité des défaillances*

Il s'agit d'évaluer ici l'impact d'une défaillance potentielle sur le produit eau pour chaque étape du processus. Pour ce faire, la criticité est la résultante des facteurs de risques suivant :

$$C = O \times G \times ND$$

- Avec **O** : **Probabilité que la cause se produise et qu'elle entraîne une défaillance**

<b>Très forte</b>	4	1 défaillance maximum par jour
<b>Forte</b>	3	1 défaillance maximum par mois
<b>Faible</b>	2	Moins de 1 défaillance par trimestre
<b>Très faible</b>	1	Moins de 1 défaillance / an

- Avec **G** : **gravité provoqué par l'effet**

<b>Très forte</b>	4	Défaillance dont le non respect des normes de qualité engendre des problèmes de sécurité sanitaire immédiats
<b>Forte</b>	3	Défaillance dont le non respect des normes de qualité implique des problèmes de sécurité sanitaire
<b>Faible</b>	2	Défaillance dont le non respect des normes de qualité (référence ou limite de qualité) peut présenter un risque sanitaire en cas d'exposition prolongée
<b>Très faible</b>	1	Défaillance qui ne présente pas de risque sanitaire mais qui entre en compte dans l'appréciation de l'eau (goût, couleur, odeur,...)

- Avec **ND** : **Probabilité que la défaillance modifie la qualité de l'eau produite**

<b>Très forte</b>	4	Il n'y a aucun moyen de détection
<b>Forte</b>	3	Le moyen de détection n'est pas fiable
<b>Faible</b>	2	Il y a un risque que la détection ne soit pas efficace
<b>Très faible</b>	1	Détection efficace qui permet une action préventive afin de prévenir la défaillance

Interprétation :

- Défaillance mineure : si  $C < 9$
- Défaillance majeure : si  $C > 9$

Remarque : La ND est défini comme la probabilité que la cause et le mode étant apparus, la défaillance modifie la qualité de l'eau produite. On peut alors se poser la question de quantifier cet indice par 1 sur le système de production. En effet, compte tenu des analyses laboratoires et des analyseurs en continu des différents paramètres analytiques, la non détection d'une défaillance semble très faible.

Cependant, celui-ci apparaît beaucoup plus prévalent sur le réseau du fait des réactions physico-chimiques non prévisibles.

↪ *Détermination des défaillances potentielles*

L'identification des défauts potentiels, de leurs effets et de leurs causes nécessite d'aborder fonction par fonction le traitement et la distribution de l'eau.

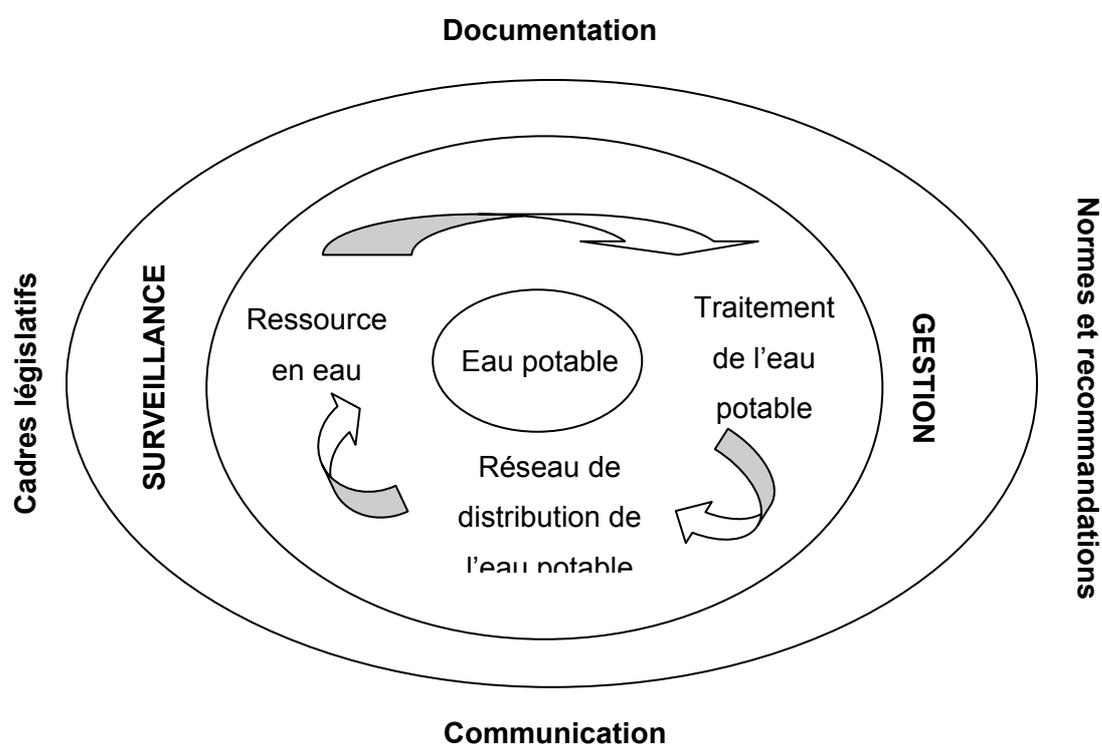
De ce fait, chaque fonction doit être sujette aux questions suivantes :

- ↪ Quel dysfonctionnement potentiel engendre l'absence de la fonction ?
- ↪ Quel dysfonctionnement potentiel engendre l'arrêt de la fonction ?
- ↪ Quel dysfonctionnement potentiel engendre la dégradation de la fonction ?

### II.3.3 Approche multicritères et limites

L'approche multicritère consiste en un système intégré de procédures, de processus et d'outils qui collectivement empêchent ou réduisent la contamination de l'eau potable afin de réduire les risques pour la santé publique (Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement, 2002).

Cette approche comporte trois éléments majeurs : la protection de la ressource, le traitement de l'eau et le réseau de distribution d'eau potable.



**Figure 7 : Schématisation de l'approche multicritères**

On peut alors notamment citer comme critères, pour le traitement, le process, les réactifs, les analyses... et pour la distribution, l'état des conduites, l'âge du réseau, ...

Même si ce type d'approche a pour but de réduire le risque de contamination et d'accroître la faisabilité et l'efficacité des actions de maîtrise, certaines limites apparaissent : la notion d'interaction entre les différents critères et leur poids entre eux.

### **III. EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE**

La démarche d'évaluation du risque, menée de façon complète et rigoureuse, permet d'aboutir à un risque estimé, et ce pour un contaminant, à une population concernée donnée. Les contaminants hydriques sont de nature physique (radioéléments), chimique (inorganiques et organiques d'origine naturelle ou anthropique) ou microbiologique (bactéries, virus, parasites...). Le risque microbien, de loin le plus important, est réel et se manifeste à court terme ; le risque chimique est réel ou suspecté et se manifeste en général à moyen ou long terme (Hartemann P., 2000).

L'un des aspects de ce mémoire est de développer une méthode de maîtrise des risques applicables à des unités de production et de distribution d'eau potable. La complexité notamment du réseau d'adduction rend peu envisageable l'application d'une méthode complète d'analyse et de maîtrise de risque. La méthodologie envisagée est de présenter une approche du risque sanitaire lié à l'eau potable en essayant de prendre en compte la production et la distribution comme une seule entité.

#### **III.1. Identification des dangers**

##### **III.1.1 Etude des contaminants microbiologiques potentiels**

L'eau peut contenir divers micro-organismes (bactéries, virus, parasites...) dont certains peuvent être hautement pathogènes aussi bien pour l'humain que pour l'animal (annexe 6). En raison de l'absence de filtration naturelle des eaux qui la composent, les eaux brutes de surface sont davantage sujettes à ce type de contamination que les eaux souterraines.

###### **III.1.1.1 Les bactéries**

Le tableau 1 présente les différentes bactéries pathogènes susceptibles de se trouver dans les eaux potables en France.

Ces bactéries peuvent persister dans l'eau ou l'environnement pendant des durées très variables, selon les conditions environnementales plus ou moins agressives. Il est difficile d'établir des durées de survie ou de persistance au stade infectieux pour chaque type bactérien.

L'OMS (OMS, 1994) cite pour les bactéries citées ci-dessous des durées de persistance au stade infectieux allant de 7 jours à 3 mois. Cependant, il faut également noter que les bactéries capables de sporuler peuvent persister très longtemps dans l'environnement : jusqu'à plusieurs dizaines voire centaines d'années, soit le temps de survie de la spore.

Compte tenu des facteurs de pathogénicité bactérienne (adhérence, multiplication, sécrétion...), les bactéries pathogènes les plus préoccupantes sont celles qui sont capables dans un environnement aquatiques de :

- ↳ Se multiplier et permettre, à partir d'une faible quantité de micro-organismes au départ d'en constituer un nombre suffisamment important pour pouvoir déclencher une infection chez l'hôte
- ↳ Produire une quantité de substances toxiques suffisantes pour entraîner des troubles chez l'hôte

L'infectivité des bactéries est variable mais globalement les doses infectantes sont assez élevées. Il a été établi que la dose infectante des bactéries pathogènes est de 10 à 10 000 fois supérieure à celle des virus et protozoaires à un niveau similaire d'exposition (Gofti, 1998).

Contaminants d'origine bactérienne	Caractéristiques	Pathogénicité	Gamme d'hôtes	Période d'incubation	Epidémiologie	Sensibilité aux désinfectant
<i>E. coli</i> pathogène	Bâtonnet à gram négatif, mobile, aérobie; non entérotoxigène et non entéro-invasif; des sérogroupes possèdent un facteur d'adhésion antigénique	Affection intestinale accompagnée de diarrhées liquides, de fièvres, de crampes et de vomissements	Humains et la plupart des mammifères	12 à 72 heures	Lié à des épidémies d'affection diarrhéique aigue dans les pouponnières; souvent sporadique; En Europe et Amérique du nord, n'est plus cause importante de diarrhée infantile	Sensible à de nombreux désinfectants
<i>Yersina enterocolitica</i>	Bâtonnet à gram négatif, aspect bacillaire ou ovoïde, production d'une entérotoxine thermolabile (ST) par certaines souches	Affection antérieure aigue avec diarrhée, entéro-colite, lymphadénite mésentérique aigue simulant une appendicite, fièvre, anorexie...	Animaux domestiques, porcs...	probablement 3 à 7 jours, habituellement moins de 10 jours	Réandu dans le monde entier; les 3/4 des infections surviennent chez les nourrissons et les jeunes enfants	Sensible à de nombreux désinfectants
<i>Salmonella sp.</i>	Bâtonnet à gram négatif, mobile, aérobie et anaérobie facultatif; identification sérologique des antigènes somatiques et flagellaires	Gastro-entérite aigue; caractérisée par un début brutal et accompagnée de douleurs abdominales, de diarrhée, de nausées et de vomissements	Humains, animaux domestiques et sauvages, oiseaux	6 à 72 heure; habituellement 12 à 36 heures environ	Réandu dans le monde entier; incidence plus élevée chez les nourrissons et les jeunes enfants; petites épidémies dans la population générale; grandes dans les hôpitaux, restaurants, foyers d'accueil	Sensible à de nombreux désinfectants
<i>Shigella sp.</i>	Bâtonnet à gram négatif, non encapsulée, asporogène, immobile	Maladie aigue du colon et de l'intestion grêle; diarrhée, fièvre, nausées et parfois toxémie, crampes et vomissements	Humains et primates	1 à 7 jours, habituellement 1 à 3 jours	Les 2/3 des cas et la plupart des décès surviennent chez les enfants de moins de 10 ans; le taux d'attaque secondaire est de 10 à 40% dans les familles; associé aux endroits surpeuplés et aux conditions sanitaires médiocres	Sensible à de nombreux désinfectants
<i>Vibrio cholerae</i>	Bâtonnet à gram négatif, non sporulant, anaérobie facultatif, oxydase-positif	Maladie pouvant être asymptomatique ou à symptômes graves; affection entérique bactérienne aigue caractérisée par un début soudain, vomissements, déshydratation	Humains	quelques heures à 5 jours, habituellement 2-3 jours	Réandu dans le monde entier au XIX <sup>e</sup> siècle	Sensible à de nombreux désinfectants
<i>Campylobacter jejuni</i>	Bactérie gram négatif, aspect de spirille et aspect en S : mobilité extrême, microaérophile; croît seulement en tension d'oxygène réduite; croissance optimale à 42°C	Affection entérique aigue de gravité variable; diarrhée, douleur abdominale, sensation de malaise, fièvre, nausée et vomissements; la maladie se prolonge chez environ 20% des malades; présence de sang, de syndrome de type typhoïde et arthrite peuvent survenir	Humains, animaux et oiseaux	2 à 5 jours, peut varier de 1 à 10 jours selon la dose	Importante casue d'affections diarrhéiques dans le monde entier chez tous les groupes d'âges (5 à 14%). Les épidémies de source commune sont le plus souvent liées aux aliments et à l'eau non chlorée	Sensible à de nombreux désinfectants : 0,1 mg/L de chlore libre, 1 mg/L de monochloramine suffisent à tuer <i>C. jejuni</i>
<i>Enterobacter sp.</i>	Bâtonnet à gram négatif, flagelles péritriches, capsulé ou non, aérobie facultatif	Diverses : nosocomiales, urinaires, infections des poumons, des plaies et du sang.	Humains	Non clairement définie	Souvent lié aux infections hospitalière; de plus en plus reconnu comme pathogène opportuniste dans une grande variété de situations	Sensible à l'hypochlorite de sodium à 1%, au glutaraldéhyde à 2%, éthanol à 70%, iode, composés phénolés
<i>Proteus sp.</i>	Bacille en forme de bâtonnet, à gram négatif, mobile, aérobie	Infections chroniques des voies urinaires, bactériémie, pneumonie et foyers lésionnels	Humains	Non clairement définie	Réandu dans le monde; cause importante d'infections nosocomiales acquises après le traitement antimicrobien	Sensible à l'hypochlorite de sodium à 1%, au glutaraldéhyde à 2%, éthanol à 70%, iode, composés phénolés

**Tableau 2 : Présentation des bactéries pathogènes d'origine hydrique et de leurs caractéristiques (1)**

Contaminants d'origine bactérienne	Caractéristiques	Pathogénicité	Gamme d'hôtes	Période d'incubation	Epidémiologie	Sensibilité aux désinfectant
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	Bâtonnet à gram positif, non sporulé, immobile, renflement caractéristique à une extrémité du bacille, aérobic facultatif	Pharyngite, fièvre, sensation de malaise, tuméfaction du cou et céphalée	Humains	Habituellement 2 à 5 jours, parfois plus	Flore normale de la peau et du nasopharynx; maladie survenant au cours des mois les plus froids dans les zones tempérées et touche les enfants non immunisés; les cas de diphtérie inapparente, de diphtérie cutanée et de diphtérie des palies son beaucoup plus fréquentes	Sensible à l'hypochlorite de sodium à 1%, au glutaraldéhyde, éthanol à 70%
<i>Aeromonas hydrophila</i>	Petits bâtonnets à gram négatif, flagelle polaire, anaérobic facultative, exotoxines	Gastro-entérite, infections des voies respiratoires aux voies urinaires	Humains, amphibiens, poissons, reptiles et oiseaux	Non clairement définie	Répandu dans le monde entier et particulièrement à <b>proximité des sources d'eau douce</b> ; l'incidence des cas graves est à la hausse chez l'humain et d nombreux isolats et probablement identifiés à tort comme des coliformes	Sensible à l'hypochlorite de sodium à 1%, au glutaraldéhyde à 2%, éthanol à 70%, iode
<i>Legionella pneumophila</i>	Bâtonnet à gram négatif qui colore mal, aérobic	Pneumonie aigue accompagnée d'anorexie, sensation de malaise, de myalgie, fièvre et frissons, toux improductive, diarrhée; taux de létalité est de 39-50% chez les malades hospitalisés	Humains, cobayes infectés	2 à 10 jours, le plus souvent 5 à 6 jours	Les épidémies sont plus fréquentes en été et en automne; le taux d'attaque est de 0,1 à 5%	Sensible à de nombreux désinfectants

**Tableau 3 : Présentation des bactéries pathogènes d'origine hydrique et de leurs caractéristiques (2)**

### III.1.1.2 Les virus

Les virus susceptibles d'être rencontrés dans le milieu hydrique en France, ainsi que leurs caractéristiques, sont présentés dans le tableau 3.

Ces virus ont une latence nulle et un temps de maintien variable dans l'eau et l'environnement. Concernant la détermination de ces temps de maintien, les mêmes remarques peuvent être faites que pour les bactéries. L'OMS (OMS, 1994) cite une durée maximale de maintien de 3 mois pour les entérovirus dans un environnement aquatique.

Contrairement à certaines bactéries, les virus pathogènes pour l'homme ne peuvent se multiplier dans le milieu extérieur, en raison de l'absence de cellules humaines nécessaire à ce développement.

La dose minimale infectante (DMI) est variable mais généralement faible :

- ✓ D'une vingtaine de particules virales pour les entérovirus,
- ✓ D'une dizaine de particules virales pour le virus de l'hépatite A,
- ✓ D'une seule particule virale pour les rotavirus.

Il est intéressant de noter que le plus souvent les virus sont adsorbés aux matières en suspension et décantent avec elles. Ils sont de plus thermosensibles, mais leur sensibilité est très variable selon le type de virus et la composition physico-chimique du milieu.

Leur résistance aux variations de pH est variable selon les virus. Ils sont pour finir sensibles aux radiations : en effet, les rayons U.V. les détruisent par dénaturation de leurs acides nucléiques. Cependant, l'action des U.V. est toutefois limitée voire inhibée par les particules en suspension.

Contaminants d'origine virale	Caractéristiques	Pathogénicité	Gamme d'hôtes	Période d'incubation	Epidémiologie	Sensibilité aux désinfectant
Hépatites A	Virus non enveloppé à ARN monocaténaire de polarité positive, hépatovirus	Début soudain accompagné de fièvre, d'une sensation de malaise, d'anoxerie, de nausée et de gêne abdominale suivis après quelques jours d'un ictère	Humains, singes, macaques	10 à 15 jours, selon la dose; moyenne de 28 à 30 jours	Sporadique et épidémique; récurrences cycliques; épidémies dans les établissements et les garderies; les épidémies évoluent lentement dans les pays développés chez les enfants d'âge scolaire et les jeunes adultes; 20 à 25 % des hépatites cliniquement apprenées dans le monde entier	Sensible à l'hypochlorite de sodium à 1%, au glutaraldéhyde à 2%, au formaldéhyde
Hépatites E	Virus à transmission entérique, épidémique, féco-orale	Ictère, anorexie, hématomégalie, douleurs et sensibilité abdominale, nausées, vomissements	Humains, primates, porcs, rongeurs, poulets domestiques	2 à 9 semaines, 26 à 42 jours en moyenne	Infections associées à la consommation d'eau contaminée par la matière fécale; jeunes adultes principalement atteints	Inconnue, mesures de base de désinfection efficaces contre le virus de l'hépatite A
Gastro-entérites virales						
↳ Adénovirus	ADN bicaténaire linéaire, diamètre de 70-90 nm, non enveloppé, icosaédral	Nausées, vomissements, diarrhées et sensations de malaise	Humains, lapins, porcs et veaux	3 à 10 jours	Epidémie et cas sporadique; cause des affections graves chez les nourrissons et les jeunes enfants; les infections se reproduisent tout au long de l'année sans périodes de flambée précises	Sensible à l'hypochlorite de sodium à 1%, au glutaraldéhyde à 2%, au formaldéhyde
↳ Virus Norwalk	Virion circulaire, non enveloppé, de 27-32 nm; ARN monocaténaire, de polarité positive	diarrhées, vomissements et crampes abdominales; mortalité associé à un déséquilibre électrolytique	Humains	10 à 60 heures; habituellement 24-48 h	Touch eprincipalement les grands enfants et les adultes; les éclosions de cas durent 1-2 semaines au plus	Sensible à l'hypochlorite de sodium à 1%, au glutaraldéhyde à 2%
↳ Rotavirus	Virion non enveloppé, icosaédrique, à 2 capsides; ARN bicaténaire, linéaire, génome segmenté	Fièvres et vomissements suivis de diarrhées aqueuse, associé parfois à une déshydratation	Humains	24 à 71 heures	Principale cause de gastroentérite chez l'enfant (95% des enfants dans le monde sont infectés); les plus forts taux d'infection s'observent chez les enfants de 4 mois à 3 ans; l'infection est habituellement asymptomatique chez l'adulte	Sensible à l'éthanol à 95%, au formol à 2%
↳ Astrovirus	Virus non enveloppé à ARN monocaténaire, non enveloppé, à capsid icosaédrique	Diarrhées, vomissements et crampes abdominales	humains	24 à 36 heures		Sensible à l'hypochlorite de sodium à 1%, au glutaraldéhyde à 2% Résistant à la désinfection alcoolique

**Tableau 4 : Présentation des bactéries pathogènes d'origine hydrique et de leurs caractéristiques**

### III.1.1.3 Les protozoaires

Les protozoaires constituent un groupe très hétérogène d'organismes eucaryotes. La plupart vivent en milieu aquatique. Quelques espèces sont parasites à l'homme. A ce titre, il faut citer les *Giardia* et les *Cryptosporidium* qui peuvent être transmis à l'homme par l'intermédiaire de l'eau d'alimentation, et provoquer des infections épidémiques (Haslay et Leclerc, 1993).

Le tableau 4 présente 2 espèces protozoaires parasites ainsi que leurs caractéristiques.

Ces deux parasites produisent des kystes qui sont très résistants aux conditions environnementales défavorables. Une fois ingérés, ils entrent en phase de germination, se reproduisent et entraînent la maladie. Le parasite se nourrit et forme de nouveaux kystes qui se retrouvent dans les selles. Des études effectuées auprès de volontaires ont montré que l'ingestion d'une faible quantité de kystes suffit pour causer la maladie.

Le traitement de l'eau potable qui inclut la filtration et la désinfection au chlore peut réduire le risque de giardiose et de cryptosporidiose. Le chlore utilisé seul n'est pas efficace contre *Cryptosporidium*, mais il est capable d'inactiver *Giardia*. Des recherches récentes ont révélé que les rayons ultraviolets parviennent à inactiver les deux organismes. La protection des réserves d'eau brute est donc également utile.

Contaminants d'origine protozoaire	Caractéristiques	Pathogénicité	Gamme d'hôtes	Période d'incubation	Epidémiologie	Sensibilité aux désinfectant
<i>Giardia lamblia</i>	Protozoaire flagellé monocellulaire; trophozoite en forme de poire possédant 2 noyaux à l'extrémité antérieure et 5 flagelles permettant des mouvements rapides évoquant la chute de feuilles; la forme enkystée se développe dans le côlon	Infection asymptomatique dans la majorité des cas, mais provoquant parfois l'apparition subite de diarrhées, crampes abdominales, perte de poids.	Humains, animaux domestiques (chiens et chats) et sauvages (ours et castors)	3 à 25 jours, habituellement 7 à 10 jours	Éclosions d'origine hydrique fréquentes dans les régions où la contamination fécale de l'eau de consommation non filtrée est courante; cause de poussées épidémiques dans les garderies	Sensibilité à l'hypochlorite de sodium à 1% (l'ajout de chlore à l'eau potable ne donne pas de résultats satisfaisants, surtout si l'eau est froide)
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Protozoaire de l'ordre des coccidies; sporozoaires; les cycles sexué et asexué s'effectuent à l'intérieur d'un seul hôte	Diarrhée aqueuse profuse, des crampes, des douleurs abdominales, perte de poids, anorexie et dans certains cas, nausées, vomissements, fièvre et myalgie	Vertébrés (humain, volaille, poisson, reptile et mammifère)	1 à 12 jour, en moyenne 7 jours	Réandu dans le monde entier; les taux d'infection varient entre 1 et 4,5%; des taux plus élevés ont été observés chez des sujets atteints du sida (3 à 20% aux USA); Epidémies fréquemment signalées dans les garderies	Résiste à la majorité des désinfectants dont l'hypochlorite à 3%, les iodophores, le formaldéhyde à 5%; un traitement prolongé (18 h) avec une solution saline de formol à 10%, déammoniac à 5% ou d'hydrogène de peroxyde à 3% réduit le pouvoir infectant du microorganisme

Tableau 5 : Présentation des protozoaires pathogènes d'origine hydrique et de leurs caractéristiques

### III.1.2 Etude des contaminants chimiques potentiels

Le décret 1220-2001 renseigne une liste de paramètres physico-chimiques devant respecter selon l'élément une limite de qualité ou une référence de qualité.

Dans le contexte d'étude du mémoire, les contaminants physico-chimiques pris en compte seront ceux cités par le présent décret.

L'annexe 7 présente pour chacun des éléments leur valeur limite de qualité, leur VTR, les voies d'exposition et l'impact sur les populations sensibles.

### III.1.3 Etude des contaminants radioactifs potentiels

La contamination par les éléments radioactifs au niveau de la région Centre Ouest n'apparaît que sur un seul paramètre : l'**uranium**. Il convient également d'ajouter que celui-ci n'est ciblé que sur deux des quinze départements, la Haute-Vienne et la Creuse du fait du contexte géologique et par conséquent industriel.

### III.1.4 Sélection des dangers

#### Sélection des agents microbiologiques :

Suite aux études bibliographiques et aux rencontres avec Mr Le Professeur Denis, chef du service de Bactériologie-Virologie-Hygiène au CHRU de Limoges, la liste des agents microbiologiques décrits dans le chapitre III.1. s'est bornée aux pathogènes suivants :

<b>Bactéries</b>	<b>Virus</b>
E. coli pathogènes	Gastro-entérites virales
Salmonella sp.	Hépatite A
<i>Campylobacter jejuni</i>	Hépatite E

Protozoaires	Cyanobactéries et toxines
<i>Giardia lamblia</i>	Cyanotoxines
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Endotoxines

Celle-ci a été définie notamment selon l'importance du risque généré par leurs propriétés et par les cas d'épidémies ou d'apparition de foyer ces dernières années.

Sélection des paramètres physico-chimiques :

Dans le cadre de l'étude, la sélection de ces paramètres s'est basée sur les non-conformités (NC) des dernières années. Un logiciel, développé en interne, MIRE réfère toutes les NC des installations des 15 départements.

Suite au sortie des données logicielles, il apparaît 7 NC principales :

- ✓ Turbidité
- ✓ Nitrates
- ✓ Micropolluant
- ✓ Fer
- ✓ Aluminium
- ✓ THM
- ✓ Indicateurs microbiologiques

Ce sont ces dernières qui ont été retenues dans l'application méthodologique de la démarche d'analyse de risque.

Remarque : L'application sur chaque site sera faite avec les NC correspondantes. En effet, les paramètres principaux de NC pourront être différents de ceux répertoriés au niveau de la région.

## **III.2. Exposition, Risque et Niveau acceptable**

### III.2.1 Définition

L'exposition désigne, dans le domaine sanitaire, le contact entre une situation ou un agent dangereux et un organisme vivant. Elle peut être considérée comme la concentration d'un agent dangereux dans le ou les milieux pollués mis en contact avec l'homme (InVS, 1999).

Dans le cas l'étude, il va donc s'agir de déterminer les populations cibles, avec une attention particulière pour les populations sensibles en fonction des différentes voies de pénétration des agents toxiques.

### III.2.2 Voies d'exposition et risques associés

Avant de caractériser les voies d'exposition les plus pertinentes, il paraît nécessaire de caractériser les usages de l'eau suite à sa distribution : celle-ci est principalement utilisée pour l'alimentation (boisson) et l'hygiène ; et une autre partie pour tous les process industriels et agricoles.

#### Détermination des voies d'exposition (annexe 7) :

Suite à l'étude des différents contaminants, il apparaît une voie prédominante : la voie digestive. Cependant, pour certains contaminants notamment microbiologiques, la voie respiratoire est à considérer également.

Enfin, la voie cutanée ne semble pas au vu des données récoltées être une voie de d'exposition.

#### Type d'exposition :

L'exposition est définie comme aiguë ; en effet, en cas de contamination du réseau d'eau potable, la durée d'exposition du consommateur serait inférieure à 15 jours et serait due à un dysfonctionnement de l'installation de traitement. Compte tenu de la présence d'analyseurs en continu et des analyses internes et DDASS réalisées, la durée d'exposition pourrait être comprise entre quelques heures et quelques jours.

#### Caractérisation des populations affectées :

Toute personne consommatrice d'eau potable distribuée par le réseau Saur pour ses usages décrit ci-dessus est considérée dans la population affectée. Cette dernière variant en nombre selon le milieu de vie (urbain ou rural).

On peut également définir une population dite sensible : celle-ci est caractérisée par tous les sites sanitaires (hôpitaux, maternité, maison de retraites...) ainsi que toutes personnes caractérisées par certaines pathologies (immunodéprimés, dialysés..) et ne résidant pas dans les établissements précédents.

### III.3. Cartographie et Modélisation des points sensibles du système

La modélisation par SIG ou logiciel équivalent permet d'optimiser le fonctionnement des installations. Leurs applications à la gestion de l'alimentation en eau sont diverses :

- Diagnostic des insuffisances et anomalies du réseau en localisant les zones à risque pour la dégradation de la qualité
- Suivi de la qualité (temps de séjour, connaissance de la propagation de polluants, optimisation d'injection de désinfectant...)
- Gestion du réseau en temps réel

De ce fait, deux types de régimes de modélisation sont possibles (Celerier J.L. et Faby J.A., 2001) :

- Modélisation en régime statique : représentation d'une situation stationnaire pour des conditions définies déterminées et constantes dans le temps
- Modélisation en régime dynamique : représentation dans l'espace et dans le temps du fonctionnement de l'ensemble des éléments du réseau

Dans ce cadre, un logiciel issu du développement du groupe Saur, **Aquasoft**, et un autre développé par l'EPA, **PipelineNet**, ont été retenus.

D'après Kistemann & al. 2001, « du fait des demandes croissantes au sujet de la protection sanitaire, la demande législative d'un meilleur état de gestion d'incident et de crise sont les challenges principaux de la future gestion de l'eau. Les SIG apparaissent donc comme des outils spatio-analytiques utiles et faciles à employer pour répondre à ces exigences.

Remarque : Par manque de temps et de données cartographiées (le réseau d'adduction représente 46 000 km de canalisations), une étude de contamination n'a pu être réalisée.

## **IV. GESTION DU RISQUE SANITAIRE**

### **IV.1. Actions de maîtrise**

Une fois les dangers et les défaillances potentielles définis, la maîtrise de ces derniers nécessite d'établir des mesures préventives et/ou des actions de maîtrise adaptées.

Les mesures préventives sont mises en place dans le but de maîtriser un danger afin de le prévenir ; les actions de maîtrise sont mises en place dès la perte ou l'absence de maîtrise d'un danger. Elles sont décrites alors par des procédures spécifiques et font l'objet d'enregistrements permettant de tracer les éventuels dépassements de limites critiques.

Le temps de réaction ( $t$ ) face un événement est imposé par le réseau et notamment par l'autonomie du réservoir de tête ( $t_{max}$ ). En effet, si  $t > t_{max}$ , il s'agit d'une situation dite d'incidence.

Par contre, si  $t < t_{max}$ , il s'agit d'une situation de crise. Dans ce cas, des procédures de crise sont mises en place de manière à éviter l'envoi d'eau non conforme dans le réseau.

### **IV.2. Vérification du système et Audit**

Afin de contrôler l'efficacité du système de maîtrise du risque sanitaire, le système mis en place est vérifié régulièrement suivant les procédures d'audit et de revue de direction. Les non conformités identifiées au cours des audits sont gérées au même titre que celles détectées par le système de surveillance.

L'ensemble des résultats de ces vérifications est examiné en revue de direction, dont le but est, entre autres, d'évaluer l'efficacité du système et de planifier son amélioration.

Un indicateur d'efficacité du système pourrait être notamment la diminution des non conformités de l'eau produite et distribuée.

### IV.3. Plan de surveillance sanitaire : communication et documentation

L'article 18 du décret 1220 – 2001 introduit la prise en compte de l'auto-surveillance par l'exploitant des eaux produites et distribuées. Cette surveillance permanente de la qualité des eaux comprend *a minima* 3 volets :

- ☞ L'examen régulier des installations,
- ☞ La mise en œuvre d'un programme de tests,
- ☞ La tenue d'un fichier sanitaire compilant l'ensemble des informations ainsi recueillies.

Les résultats de l'autocontrôle sont soumis à une double obligation de communication :

- ☞ Ils sont tenus à la disposition du préfet, et associés à toute information complémentaire, notamment relative à des éventuels incidents susceptible d'avoir des conséquences sur la santé publique,
- ☞ Dans les unités de distribution de plus de 3500 habitants, le distributeur envoie également au préfet chaque année le bilan de fonctionnement du système de distribution et le plan de surveillance prévu pour l'année suivante.

De manière à répondre à l'article réglementaire ci dessus, un document sous forme d'instruction de travail nommé « Etablissement du programme de surveillance analytique du processus eau potable » définit la méthode de base à prendre en compte par l'exploitant pour préparer son programme de surveillance analytique annuelle.

Ainsi, à partir de cette IT, un programme annuel de surveillance a été défini. Celui-ci comporte les points suivants :

- ↪ La description des points de prélèvements
- ↪ La liste des paramètres
- ↪ Le type d'analyses

La fréquence d'analyse est déterminée pour chaque paramètre associé à une étape du processus à partir du tableau suivant :

Niveau de risque à l'étape de traitement concerné	Analyseur en continu	Analyseur en continu sur paramètre en interaction	Fréquence d'analyses (ponctuelle en labo)
1 à 3	/	/	Allégée
4 et 6	Oui	Non	Allégée
	Non	Oui	Normale
	Non	Non	Normale
> 7	Oui	Non	Allégée
	Non	Oui	Normale
	Non	Non	Renforcée

Le niveau de risque correspond à l'indice de risque R défini dans le mode de détermination des points critiques (chapitre II.3.2.2.).

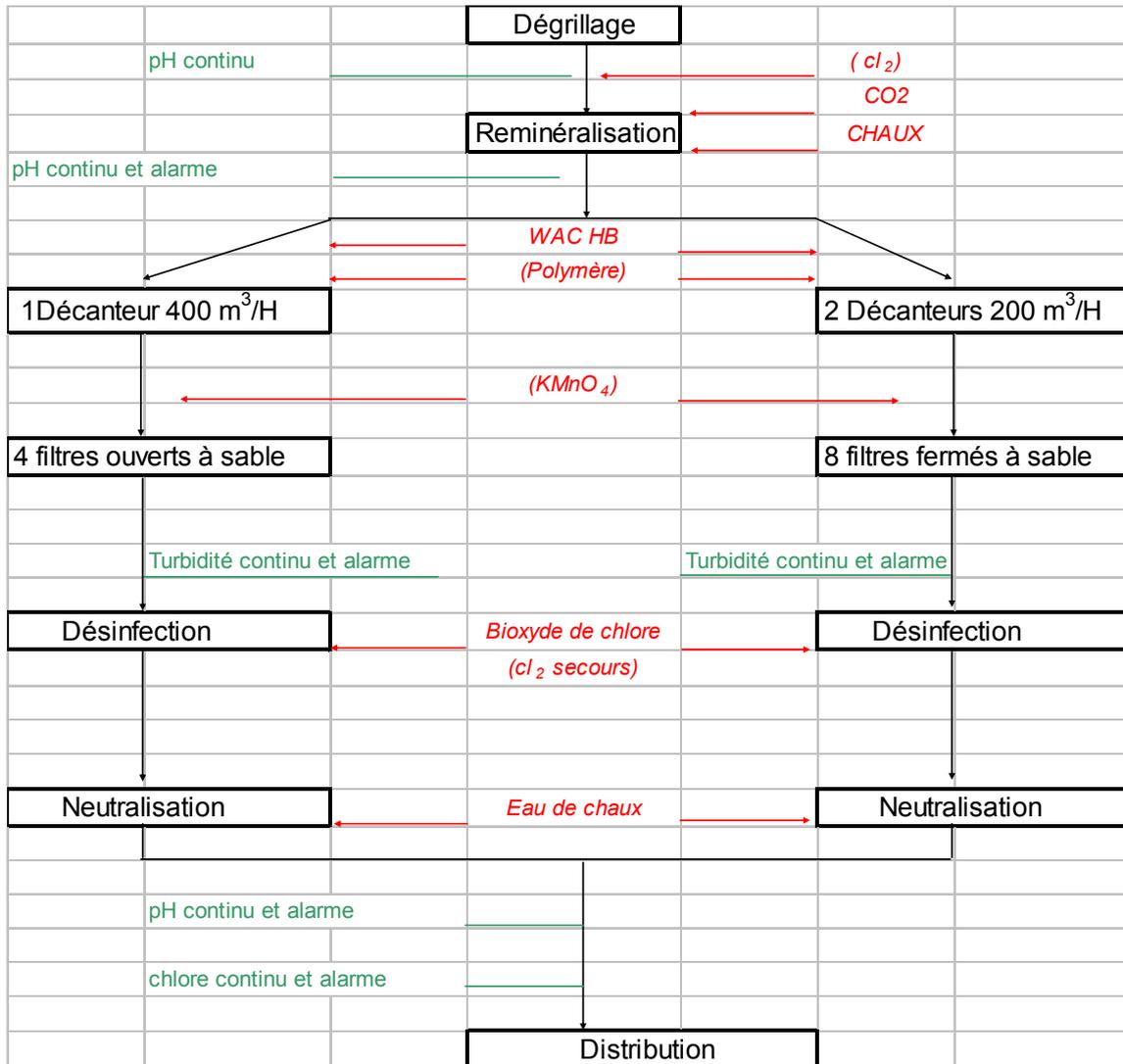
De plus, un document de liaison et de transfert (document final du programme de surveillance sanitaire) est transmis annuellement au préfet avec notamment les points suivants :

- ↗ Le plan de surveillance analytique pour l'année suivante
- ↗ L'information de l'auto-contrôle
- ↗ Le bilan des non conformités

## V. EXEMPLE D'APPLICATION DE LA METHODOLOGIE : STATION DE LANNAUD

### V.1. Présentation

Mise en place en 1956, la station de Lannaud, situé en Haute-Vienne, est une unité de production d'eau potable de capacité nominale 600 m<sup>3</sup>/h. Utilisant la Vienne comme ressource, le traitement est de type physico-chimique suivi d'une désinfection.



**Figure 8 : Filière de traitement de la station de Lanaud**

Cette station dessert une eau potable sur un secteur de 7 communes voire plus important par mélange d'eau avec la station de solignac.

## V.2. Analyse de risque sanitaire

Après étude de l'historique du site (non conformités, intervention maintenance...), 3 paramètres apparaissent comme prédominant : pH, fer et microbiologie.

L'application des étapes méthodologiques 3 à 5 permet de mettre en évidence les PCC et défaillances potentielles suivantes :

Paramètres	Filière de traitement	Etapes process	Point Critique de Contrôle (PCC)
Fer	Dégrillage Reminéralisation \ Décantation \ Filtration sur sables \ Réservoir \ Neutralisation \ Réseau	Dégrillage Reminéralisation	/
		Décantation	PCC
		Filtration sur sables	/
		Désinfection	/
		Neutralisation	/
		Chloration Réseau	/
Indicateurs Microbiologiques	Dégrillage Reminéralisation \ Décantation \ Filtration sur sables \ Réservoir \ Neutralisation \ Réseau	Dégrillage Reminéralisation	/
		Décantation	PCC
		Filtration sur sables	PCC
		Désinfection	PCC
		Neutralisation	/
		Chloration Réseau	PCC
pH	Dégrillage Reminéralisation \ Décantation \ Filtration sur sables \ Réservoir \ Neutralisation \ Réseau	Dégrillage Reminéralisation	PCC
		Décantation	/
		Filtration sur sables	/
		Désinfection	/
		Neutralisation	PCC
		Chloration Réseau	/

**Figure 9 : Points Critiques de la station de Lannaud**

Étapes process	Fonctions Étapes Process	Défaillances potentielles	Effets de défaillance	Causes de défaillance	Criticité				Cotation de la priorité du danger
					G	O	ND	C	
Réseau / Chloration	Alimentation en eau	Contamination biologique	Non conformités des paramètres analytiques	Défaut quantité désinfectant injectée	3	3	2	18	M
				Panne de la pompe d'injection					
	Maintien de la pression	Chute de pression		Casse de canalisations					
				Retour d'eau					
				Casse des ventouses					
				Casse des stabilisateurs de pression					

**Figure 10 : Défaillances potentielles de la station de Lannaud**

### V.3. Actions de maîtrise

Comme cité dans le chapitre IV.1., les actions de maîtrise sont définies selon un mode d'incidence et un mode de crise dépendant chacun de l'autonomie du réservoir de tête. Dans la figure ci-dessous, les actions de maîtrise pour la défaillance déterminée (ici, réseau / chloration) spécifique à chaque mode y sont présentées :

Type process	Défauts potentiels	Effets de défaillance	Causes de défaillance	Criticité C	Actions de maîtrise	
					Incidence : $t > t_{max}$	Crise : $t < t_{max}$
Réseau / Chloration	Contamination biologique	Non conformités des paramètres analytiques	Défaut quantité injectée	18	Si quantité nulle, vérifier que la bouteille n'est pas vide Si quantité faible ou forte, vérifier le débit de sortie à la bouteille	Prévoir l'arrêt de l'usine et l'alimentation du réseau de distribution par les usines de production du même réseau Avertir les organismes d'état en vu de la gestion de crise
			Panne de la pompe d'injection		Changer la pièce défectueuse	
	Chute de pression		Casse de canalisations		Arrêter le débit à la vanne la plus proche, changer la pièce	
			Retour d'eau		Arrêter le débit à la vanne la plus proche, et remettre le système en pression	
			Casse des ventouses		Arrêter le débit à la vanne la plus proche, changer la pièce	
			Casse des stabilisateurs de pression		Arrêter le débit à la vanne la plus proche, changer la pièce	

**Figure 111 : Actions de maîtrise de la station de Lannaud**

**Remarque** : L'application méthodologique présente une certaine limite. En effet, tout élément n'apparaissant pas comme un PCC n'est pas considéré comme un danger potentiel pour la filière de traitement considéré. Cependant, celui-ci peut apparaître comme un élément non-conforme dans l'eau produite et distribuée.

De plus, pour un paramètre non traité par une filière de traitement, en cas d'occurrence forte voire très forte, celui-ci supposera une modification de la filière.

## CONCLUSION

La qualité sanitaire de l'eau distribuée est un problème de santé publique et fait à ce titre l'objet de textes réglementaires de plus en plus stricts. Ainsi, les lois imposent de nombreux paramètres à prendre en compte (actuellement 62) pour lesquels des concentrations maximales admissibles sont fixées à un seuil très bas prenant en compte des critères de toxicité à long terme. La surveillance continue de la qualité de l'eau brute (rivière ou nappe phréatique) ainsi que du fonctionnement des installations de traitement est également exigée.

La réflexion présentée dans ce mémoire est de développer une méthode de maîtrise des risques applicables à des unités de production et de distribution d'eau potable. La complexité notamment du réseau d'adduction rend peu envisageable l'application d'une méthode complète d'analyse et de maîtrise de risque. La méthodologie envisagée est donc une approche multicritère du risque sanitaire lié à l'eau potable en essayant de prendre en compte la production et la distribution comme une seule entité.

L'axe principale de réflexion est celui d'une approche horizontale et verticale du système « eau potable » en terme de qualité d'eau produite : horizontale par l'identification des paramètres majeurs présentant un risque (approche de type HACCP), et verticale par la détermination des défaillances potentielles (approche de type AMDEC).

Une fois les dangers et les défaillances potentielles définis, la maîtrise de ces derniers nécessite d'établir des mesures préventives et/ou des actions de maîtrise adaptées. Le temps de réaction ( $t$ ) face un événement est imposé par le réseau et notamment par l'autonomie du réservoir de tête ( $t_{max}$ ).

Cependant, l'évolution de la qualité de l'eau dans les réseaux de distribution apparaît comme l'un des segments du système le moins maîtrisable (âge et type des canalisations, temps de séjour...). Durant le transit de l'eau potable, le réseau se comporte comme un réacteur biochimique dans lequel les paramètres physico-chimiques subissent des réactions et la qualité biologique peut être modifiée. Ainsi, desservir une eau de qualité au robinet du consommateur nécessitera un suivi continu et une modélisation SIG afin d'anticiper d'éventuels modifications des paramètres de l'eau suite à un phénomène propre au réseau et/ou à une contamination externe.

---

## Bibliographie

---

AMORETTI R., 1996. Modélisation et commande de réseau d'eau potable, Techniques Sciences Méthodes, 186-190 p.

AURELL H. & Al., 2003. Legionella pneumophila Serogroup 1 strain paris : endemic distribution throughout France, Journal of Clinical Microbiology, July 2003, 3320-3322 p.

BONNARD R., 2001. Le risque biologique et la méthode d'évaluation de risque, INERIS, MATE, 79 p.

CELERIER J.L. et FABY J.A., 2001. La dégradation de la qualité de l'eau potable dans les réseaux, Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales, Direction de l'espace rural et de la forêt, Document technique, hors série n° 12, 98 p.

CHEVALIER P., 1999. Les critères de qualité d'une eau destinée à l'alimentation humaine sont ils adaptés aux besoins des industriels ?, Techniques Sciences Méthodes, 83-86 p.

CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT, 2002. De la source au robinet, l'approche à barrières multiples pour de l'eau potable saine, 12 p.

DAMEZ & Al., 1992. Evolution de la qualité de l'eau dans les réseaux de distribution (1<sup>ère</sup> partie), Techniques Sciences Méthodes, 28 p.

DENIS F., 2004. Virus et infections gastro-intestinales, 7 p.

EPA / Awwa RF, 2003. Case study for a distribution system emergency response tool, 27 p.

GAOULIS J., 2001. La gestion de l'eau à l'aube du 3<sup>ème</sup> millénaire : vers un paradigme scientifique nouveau, Revue des Sciences de l'Eau, 213-221 p.

GARIN H., 1994. AMDEC / AMDE / AEEL : l'essentiel de la méthode, AFNOR, 40 p.

GODET J.L. & Al., 1998. Influence des réseaux sur la qualité de l'eau, Techniques Sciences Méthodes, 20-81 p.

GOFTI-LAROCHE & Al. 2001. Description de la consommation d'eau de boisson dans certaines communes françaises, *Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique*, 411-422 p.

GOFTI-LAROCHE & Al. 1999. Evaluation du risque microbiologique d'origine hydrique : un état de l'art et des perspectives, *Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique*, 61-73 p.

GRIMONT P.A.D., 2000. Les infections bactériennes transmises par l'eau, *Concours Médical*, 1776-1779 p.

HARTEMANN P., 2000. Evaluation du risque chimique et microbiologique lié à la consommation d'eau, *Concours Médical*, 1771-1774 p.

HASLAY C. et LECLERC H., 1993. *Microbiologie des eaux d'alimentation*, Techniques et Documentation – Lavoisier, 490 p.

InVS, 1999. Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact, 49 p.

MARIET C., 2001. Que faut il attendre de la directive cadre sur l'eau ?, *Techniques Sciences Méthodes*, 2-4 p.

KISTEMANN T. & Al., 2001. GIS-based analysis of drinking-water supply structures : a module for microbial risk assessment, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, mars 2001, 301-310 p.

LOPMAN B. & Al., 2004. Increase in viral gastroenteritis outbreaks in Europe and epidemic spread of new norovirus variant, *The Lancet*, Vol. 363, 682-688 p.

MESNY M., 1997. Sécurité de l'alimentation en eau potable, *Techniques Sciences Méthodes*, 56-60 p.

MINISTRY OF HEALTH, 2002. Public Health Risk Management Plan Guide, worked example of a public health risk management plan for a small supply using chlorinated groundwater, version 1, Ref. W2, 34 p.

MOUCHET P., 1992. Evolution de la qualité de l'eau dans les réseaux de distribution (1<sup>ère</sup> partie), *Techniques Sciences Méthodes*, 28 p.

MOUTET C., 2002. Les normes essentielles de conception, de mise en œuvre, de gestion et de produits du « cycle de l'eau », Techniques Sciences Méthodes, 27-42 p.

NHRMC / ARMCANZ, 1996. Australian Drinking Water Guidelines, national water quality management strategy, summary, 40 p.

NHRMC / ARMCANZ, 2002. Framework for management of drinking water quality : a preventive strategy from catchment to consumer, public consultation, 71 p.

OMS, 1994. Directives de qualité pour l'eau de boisson, deuxième édition, Volume I

PISSAVY L., 2002. Les réseaux intérieurs d'eau potable désormais sous surveillance, Environnement et Techniques, novembre 2002, 75-77 p.

ROUMAGNAC A. & Al., 1998. Sécurisation de la ressource en eau : couplage entre une détection biologique par un réseau de surveillance et d'alerte et une identification par empreinte de l'eau, Techniques Sciences Méthodes, 59-66 p.

SAUR Direction Technique, 2002. Guide technique pour la démarche « Eude du Risque Sanitaire », version 2, 60 p.

TASSINARI R., 1995. L'analyse fonctionnelle, AFNOR, 40 p.

WHO, 2002. Water Safety Plans, revised draft, 89 p.

Site internet :

Organisation Mondiale de la Santé : <http://www.who.int/pcs/ehc/summaries>

Lenntech : <http://www.lenntech.com/>

Santé Canada, Direction Générale de la Santé de la Population et de la Santé Publique (DGSPSP) : [http://www.hc-sc.gc.ca/pphb-dgspsp/msds-ftss/index\\_f.html#menu](http://www.hc-sc.gc.ca/pphb-dgspsp/msds-ftss/index_f.html#menu)

---

## Liste des annexes

---

Annexe 1 : Synoptique d'une filière de traitement

Annexe 2 : Représentation schématique de la méthode HACCP

Annexe 3 : Représentation schématique de la méthode AMDEC

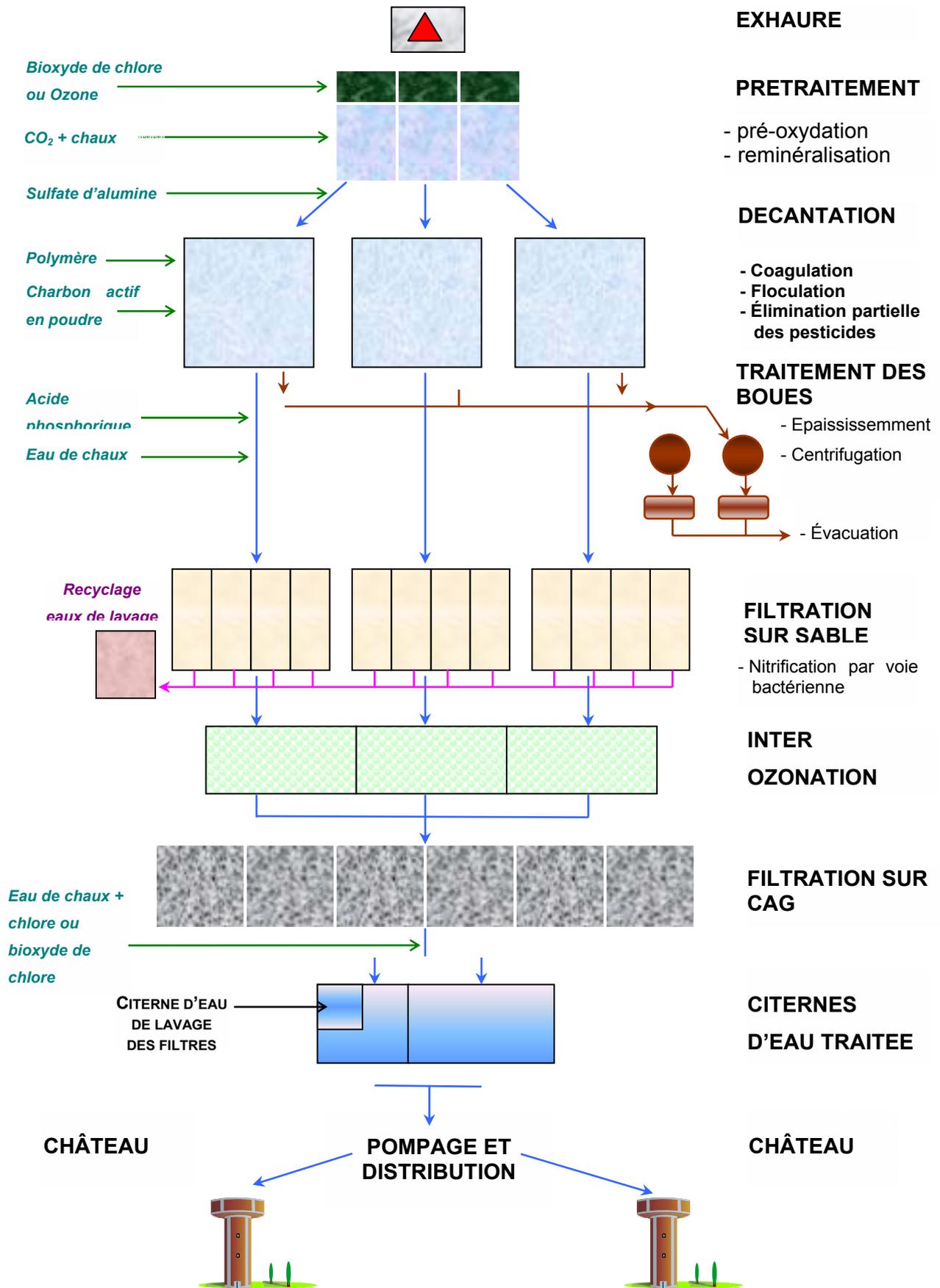
Annexe 4 : Représentation schématique du DWQMS

Annexe 5 : Description schématique du WSP

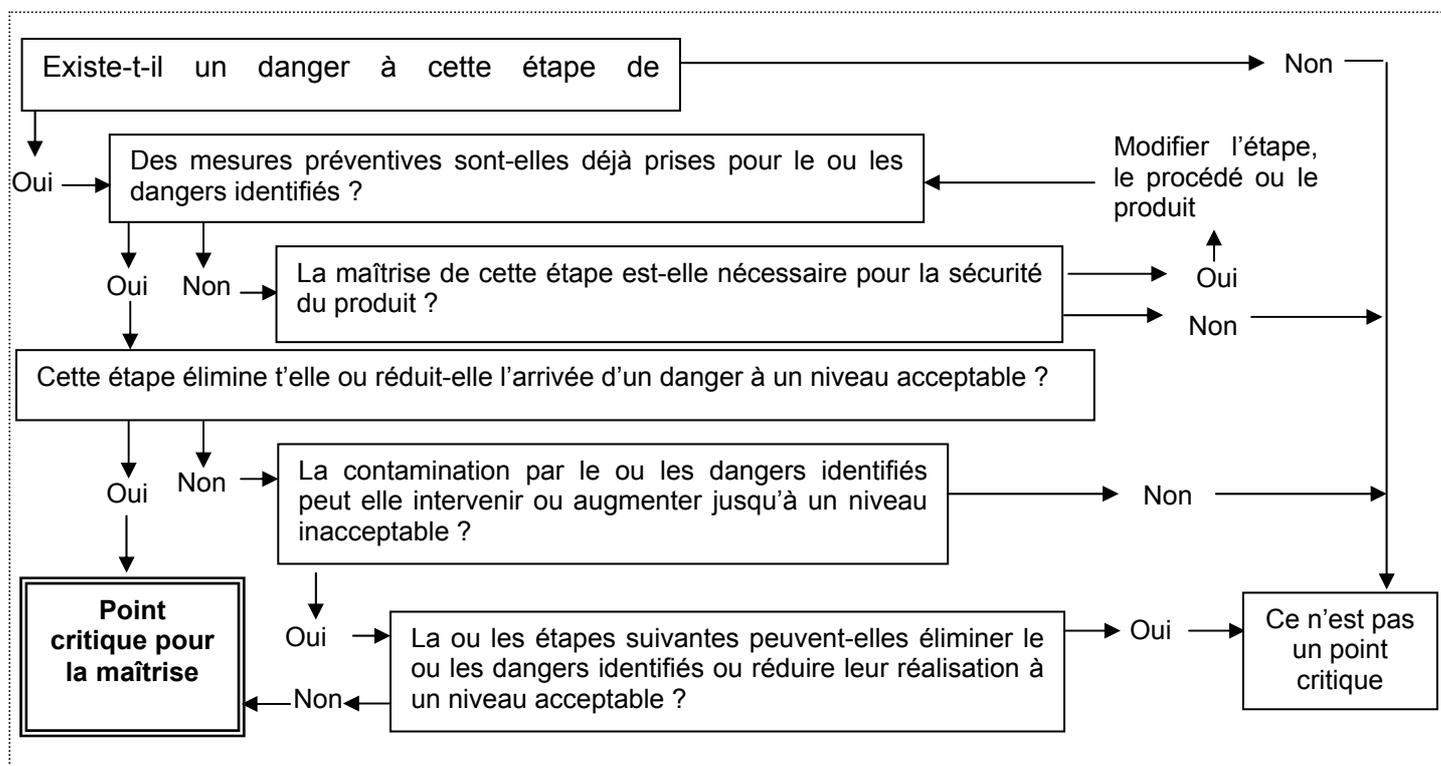
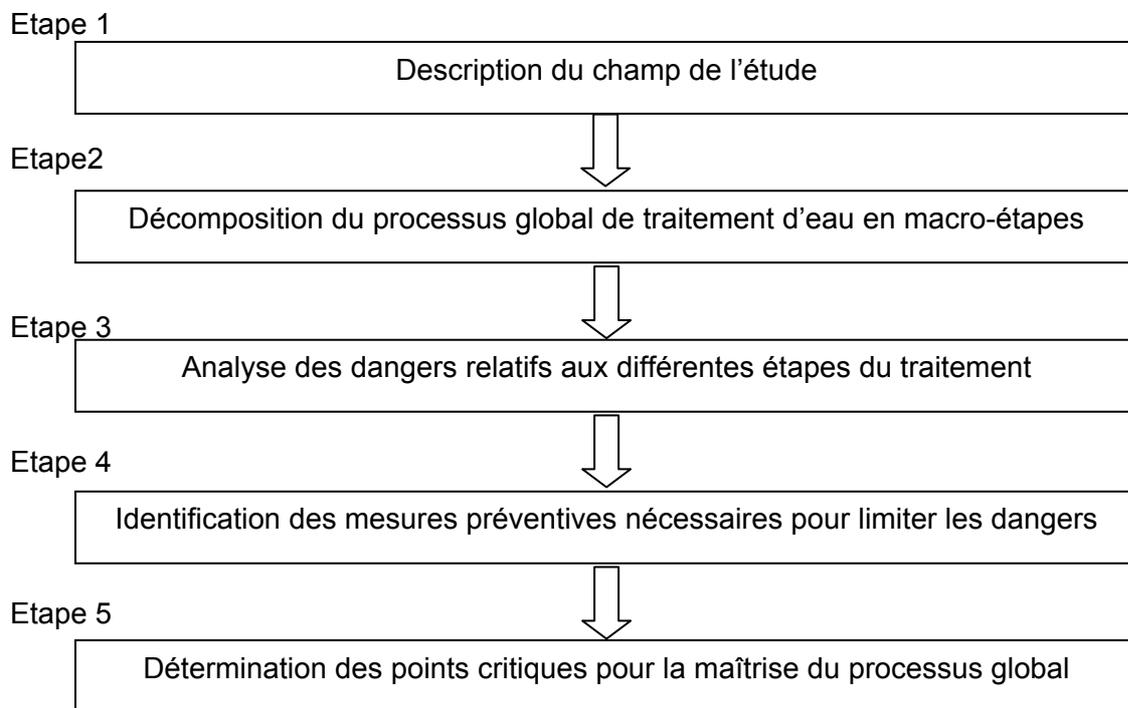
Annexe 6 : Présentation des microorganismes pathogènes pour l'homme en lien avec le milieu hydrique

Annexe 7 : Contaminants et voies d'exposition

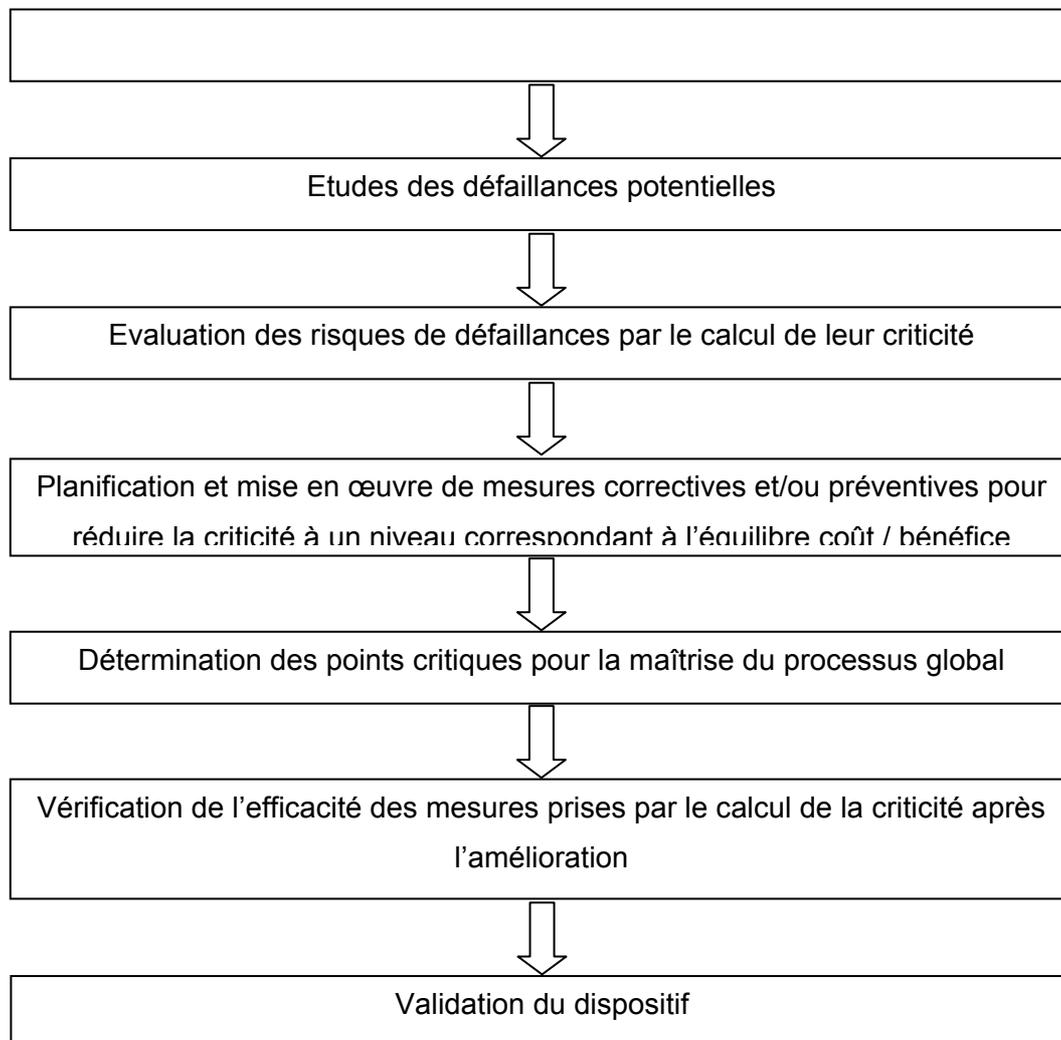
# Annexe 1 : Synoptique générale d'une filière de traitement



## Annexe 2 : Représentation schématique de la méthode HACCP



## Annexe 3 : Représentation schématique de la méthode AMDEC



## Annexe 4 : Représentation schématique du DWQMS

### Framework for Management of Drinking Water Quality

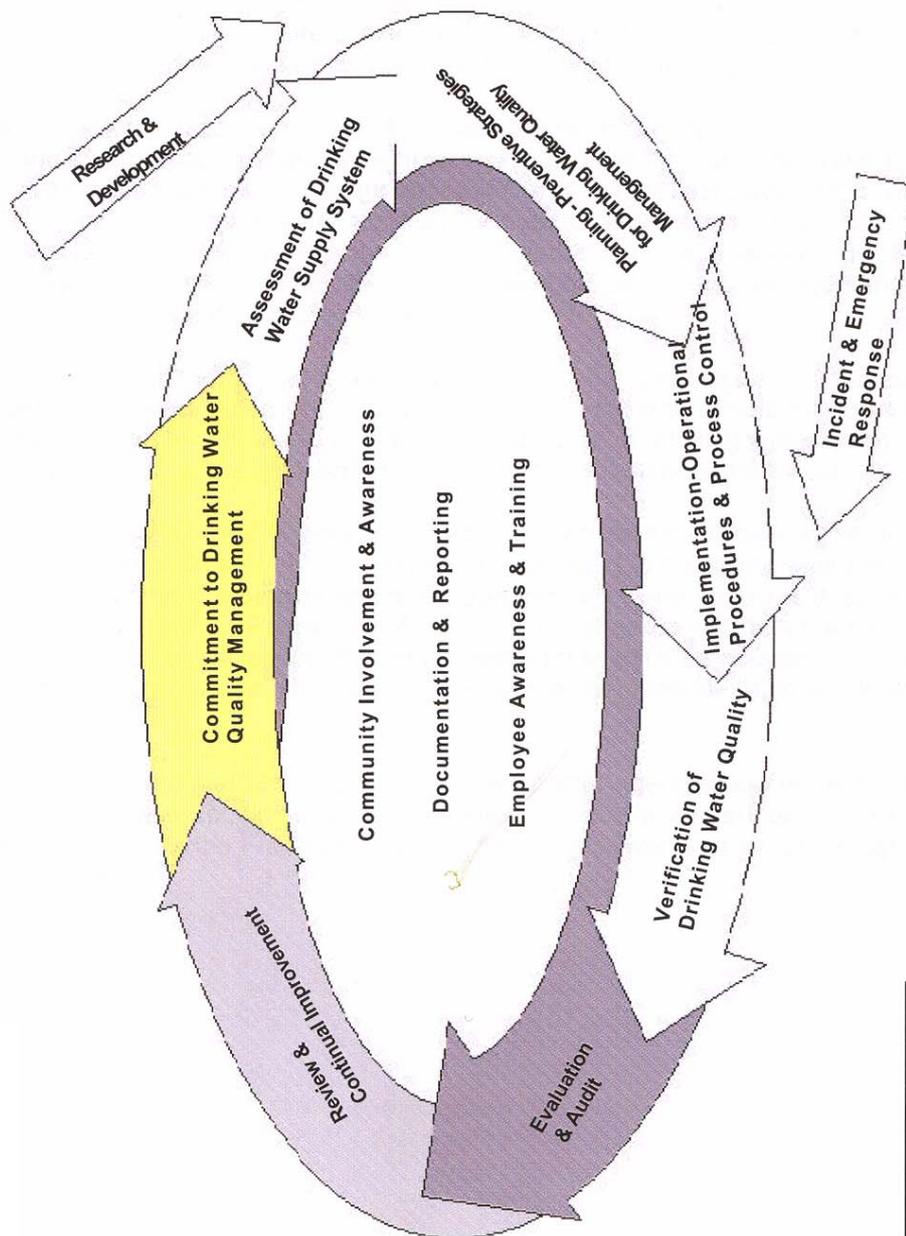


Figure A presents a simplified overview of the Framework which reflects the interrelationships between elements and the concept of continual improvement.

# Annexe 5 : Représentation schématique du WSP

Principles. An example of how these Principles might be applied to the control of a specific microbial hazard in a water industry context is outlined in Table 2-1.

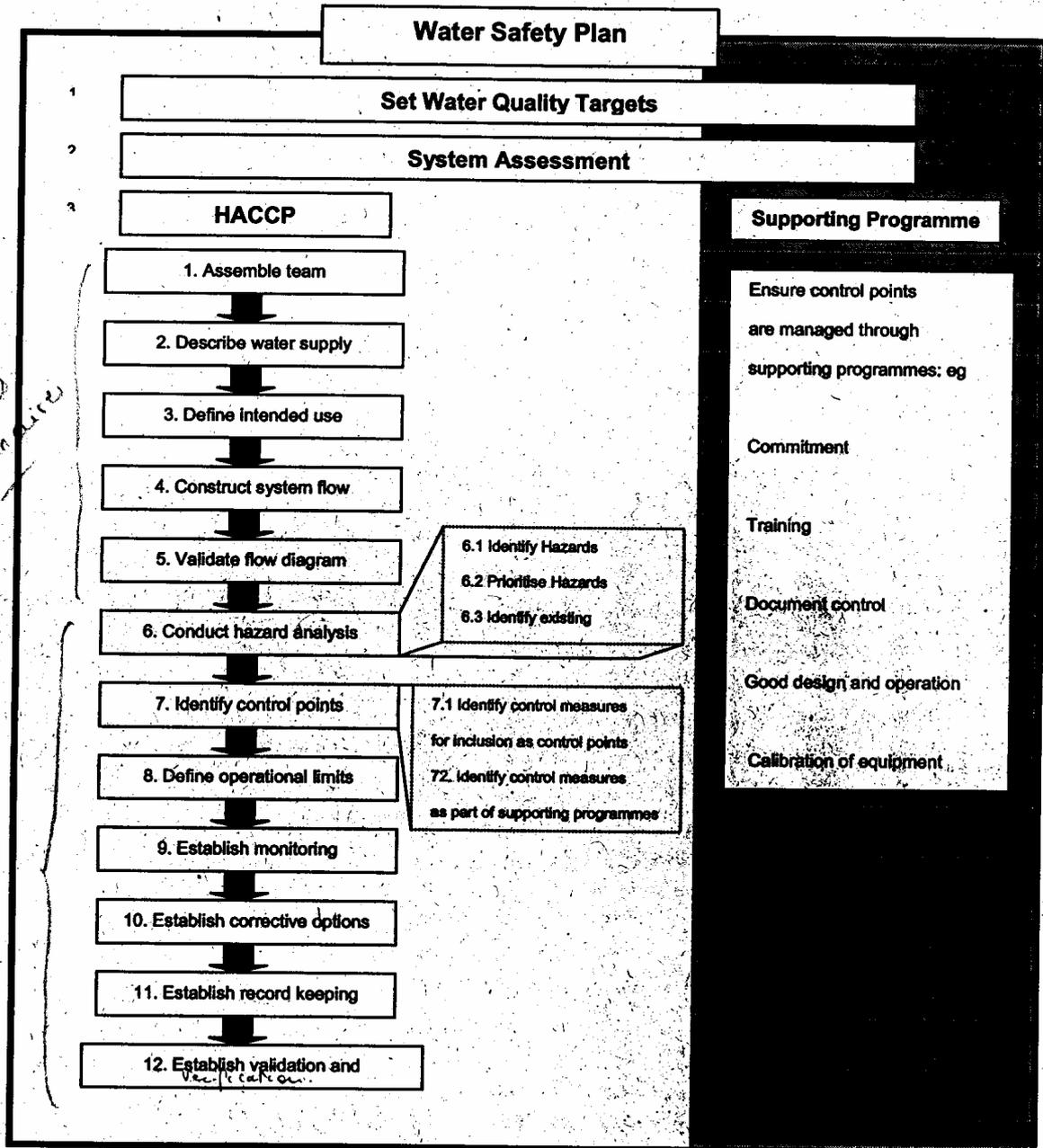


Figure 2-2. Steps in the development of a Water Safety Plan

## Annexe 6 : Présentation des microorganismes pathogènes pour l'homme en lien avec le milieu hydrique

Agent pathogène	Importance sanitaire	Persistance dans l'eau <sup>a</sup>	Résistance au chlore <sup>b</sup>	Dose infectante relative <sup>c</sup>	Réservoir animal important
<b>Bactéries</b>					
<i>Campylobacter jejuni</i>	Risque grave par simple présence	Modérée	Faible	Modérée	Oui
<i>E. Coli</i> - pathogène	Risque grave par simple présence	Modérée	Faible	Elevée <sup>d</sup>	Oui
<i>E. Coli</i> - toxinogènes					
<i>Salmonella typhi</i>	Risque grave par simple présence	Modérée	Faible	Elevée	Oui
<i>Shigella sp.</i>		Modérée	Faible	Elevée	Non
<i>Vibrio cholerae</i>		Brève	Faible	Elevée	Non
<i>Yersinia enterocolitica</i>		Longue	Faible	Elevée (?)	Oui
<i>Acinetobacter sp.</i>	Risque pour les personnes affaiblies si en grand nombre				
<i>Legionella sp.</i>	Risque en cas d'inhalation d'eau très contaminée				
<b>Virus</b>					
Adénorvirus	Risque grave par simple présence	?	Modérée	Faible	Non
Hépatite A		?	Modérée	Faible	Non
Hépatite E		?	?	Faible	Non
Virus Norwalk		?	?	Faible	Non
Rotavirus	Modérée	?	?	Modérée	Non (?)

Agent pathogène	Importance sanitaire	Persistance dans l'eau <sup>a</sup>	Résistance au chlore <sup>b</sup>	Dose infectante relative <sup>c</sup>	Réservoir animal important
<b>Protozoaires</b>					
<i>Giardia lamblia</i>	Risque grave par simple présence	Modérée	Elevée	Faible	Non
<i>Cryptosporidium parvum</i>		Modérée	Elevée	Faible	Oui
<b>Toxines de cyanobactéries</b>					
Hépatotoxines (produites par <i>Microcystis</i> sp., <i>Oscillatoria</i> sp., <i>Anabaena</i> sp., <i>Nodularia</i> sp.)	Provoque la mort par choc circulatoire et hémorragie hépatique massive dans les 24 heures suivant l'ingestion	?	Oui		
Neurotoxines (produites par <i>Anabaena</i> sp., <i>Oscillatoria</i> sp., <i>Nostoc</i> sp., <i>Cyclindrospermum</i> sp., <i>Aphanizomenon</i> sp.)	Provoque des atteintes neurologiques	?	Oui		
Lipopolysaccharides		?	Oui		

a	Durée de la période de détection du stade dans l'eau à 20°C : brève, jusqu'à une semaine; modérée, 1 semaine par mois; longue, supérieure à 1 mois
b	Lorsque le stade infectant est en suspension dans l'eau traitée, avec une dose normale de désinfectant et un temps de contact normal. Résistance modérée : l'organisme peut n'être complètement détruit; Résistance faible : l'organisme est complètement détruit
c	Dose nécessaire pour provoquer l'infection chez 50% de volontaires adultes en bonne santé; pour certains virus, il peut suffire d'une seule unité infectante
d	D'après des expériences faites sur des volontaires
e	L'infection s'acquiert principalement par contact cutané, mais les patients immunodéprimés ou cancéreux peuvent être infectés par voie orale

## Annexe 7 : Contaminants et Voie d'exposition

Contaminants d'origine chimique	Analyses en production	Analyses en distribution	Valeurs limite de qualité	Voies d'exposition et Risques associés			Valeurs de toxicité relative		Populations sensibles
				Cutanée	Digestive	Respiratoire	R <sub>f</sub> D mg/kg/j	R <sub>f</sub> C mg/m <sup>3</sup>	
Aluminium	✓	✓ si agent de floculation	200 µg/L	/	Nausées, vomissements, diarrhée, éruptions buccales et cutanées	/	4.10 <sup>-4</sup>	/	<i>Sujets atteints d'insuffisance rénale</i> : neurotoxicité aluminique
Ammonium	✓	✓	0,1 mg/L				/	1.10 <sup>-1</sup>	/
Antimoine			5 µg/L	Irritations de la peau et des yeux	/	/	4.10 <sup>-4</sup>	/	/
Arsenic			10 µg/L	/	Effets gastro-intestinaux, troubles cardiovasculaires et neurologiques pouvant aboutir à la mort. Chez les survivants, hémolyse, mélanose, encéphalopathie	/	3.10 <sup>-4</sup>	/	<i>Cancéreux</i> : effets clastogènes sur différents types de cellules et avec différents points d'aboutissements
Baryum			0,7 mg/L	/	Paralysie, voire mort en grande quantité. Dommages reins et foie, faiblesse musculaire, modifications rythme cardiaque en petite quantité	/	7.10 <sup>-2</sup>	/	/
Benzène			1 µg/L		Douleurs abdominales, maux de gorge, vomissements		4.10 <sup>-3</sup>	3.10 <sup>-2</sup>	/
Bore			1 mg/L	/	Peu de données toxicologiques sur l'homme mais effets possibles sur le développement et la reproduction sous formes de borate et d'acide borique	/	9.10 <sup>-2</sup>	/	/
Bromates			10 µg/L				4.10 <sup>-4</sup>	/	/
Cadmium			5 µg/L	/	Diarrhée, vomissements, altération de l'ADN	/	5.10 <sup>-4</sup>	/	/

Contaminants d'origine chimique	Analyses en production	Analyses en distribution	Valeurs limite de qualité	Voies d'exposition et Risques associés			Valeurs de toxicité relative		Populations sensibles
				Cutanée	Digestive	Respiratoire	R <sub>f</sub> D mg/kg/j	R <sub>f</sub> C mg/m <sup>3</sup>	
Chlore	✓	✓	200 mg/L		Aucun effet en tant que tel cf. THM (métabolites)		1.10 <sup>-1</sup>	/	/
Chrome total			50 µg/L				3.10 <sup>-3</sup>	8.10 <sup>-6</sup>	/
Cuivre			2 mg/L	/	Effets gastro-intestinaux	/	/	/	/
Cyanure			50 µg/L				2.10 <sup>-2</sup>	/	/
Fer	✓	✓ en tant que fer total	200 µg/L			Inhalation de vapeurs d'oxyde de fer : pneumoconiose bénigne	/	/	/
Fluorures	✓		1,5 mg/L	/	Pas d'effets à court terme	/	6.10 <sup>-2</sup>	/	/
HAP			0,1µg/L	Effets différents selon la molécule mère			/	/	/
Manganèse	✓	✓	50 µg/L	/	Effets sur le système respiratoire et le cerveau	/	1.10 <sup>-4</sup>	5.10 <sup>-5</sup>	/
Mercure	✓		1 µg/L	/	Perturbations du système nerveux, réactions allergéniques, éruptions cutanées, maux de tête	/	/	3.10 <sup>-4</sup>	/
Nickel			20 µg/L	Réactions allergéniques	Nausée, embolies pulmonaires, problèmes cardiaques	/	2.10 <sup>-2</sup>	/	/
Nitrates	✓	✓ si plusieurs ressources en eaux au niveau de l'unité de distribution dont une au moins délivre une eau dont la concentration en nitrates est supérieure à 50 mg/	50 mg/L	Pas de données concrètes sur l'effet sanitaire			1,6	/	/

Contaminants d'origine chimique	Analyses en production	Analyses en distribution	Valeurs limite de qualité	Voies d'exposition et Risques associés			Valeurs de toxicité relative		Populations sensibles
				Cutanée	Digestive	Respiratoire	R <sub>f</sub> D mg/kg/j	R <sub>f</sub> C mg/m <sup>3</sup>	
Nitrites	✓	✓	0,5 mg/L		1.10 <sup>-1</sup>	/	/		
Pesticides	✓		0,1 µg/L	Effets différents selon la molécule mère	/	/	/		
Plomb	✓		10 µg/L	/	Problèmes de reins, perturbation du système nerveux, dommage au cerveau, augmentation de la pression artérielle	/	/	/	/
Sélénium			10 µg/L	/	Effets allant de l'ongle déformé à une inflammation de la peau. A dose importante, risque de mort	/	5.10 <sup>-3</sup>	/	/
Sodium	✓		200 mg/L	Irritations de la peau, le nez, les yeux	Hypertension artérielle, effets sur les reins	/	4.10 <sup>-3</sup>	/	/
Sulfates	✓	✓	250 mg/L	Pas de données concrètes sur l'effet sanitaire			/	/	/
THM		✓	100 µg/L	/	Hépatotoxicité, néphrotoxicité Peu d'effets toxiques sur la reproduction et le développement	/	/	/	/