

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 8 MAI 1945 GUELMA  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS  
DEPARTEMENT DE SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE



## Mémoire de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biologie

Spécialité/Option : Biologie moléculaire et cellulaire/ Biologie moléculaire des  
procaryotes

### Thème

## Les sous-produits de chloration de l'eau potable

Présenté par :

BIELO Mazahalo

NDIEMI Veronique

Devant le jury composé de :

Président : Mr GHRIEB Lassaad (M.A.A)

Examineur : Mr BENOURETH Djamel Eddine (Prof.)

Encadreur : Mme KHALLEF Messaouda (M.A.A)

Juin 2011



# Remerciements

Nous remercions Dieu pour la santé, l'intelligence et l'énorme soutien face aux nombreuses difficultés rencontrées, qu'il nous a accordé tout au long de ce travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadreur, Madame Khallel Messaouda, qui de par son optimisme débordant et son sens du travail a su nous encourager et orienter.

Nous remercions les membres du jury d'avoir bien voulu examiner ce modeste projet.

Nous pensons également au chef de département de Biologie, à tout le corps professoral du dit département qui nous a transmis son savoir faire durant notre cursus.

Nous sommes reconnaissantes envers tout le corps enseignant qui nous a tenu pendant ces cinq années, avec rigueur et exhortation.

Nous remercions la direction de Guelma de l'Algérienne Des Eaux, en particulier son Directeur, Monsieur Chaalal Mohamed, et Madame Haddad Souèd, sans oublier, le personnel de la Station de traitement de Guelma, pour leur gentillesse et les informations qu'ils ont mis à notre disposition.

Nous adressons nos remerciements au Professeur Djorourou, du département de chimie à l'université de Badji Mokhtar d'Annaba, qui a bien voulu nous accorder l'accès à leur laboratoire de recherche.

Nos remerciements, à tous ceux qui ont contribué d'une quelconque manière à la réalisation de ce projet.

BIELO MAZAHALO

NDIEMI VERONIQUE

# Dédicace

*Je dédie ce travail à :*

*Mes parents : Mr et Mme B. F. F. qui m'ont toujours motivé, soutenu et encouragé à persévérer dans mes études.*

*- Mes frères et sœurs : Pascal, Tyalo, Fernand, Victorine et reine*

*- Mr et Mme N. F. W. qui n'ont cessé de m'encourager*

*- Mr A. Y. A. B. B. R. qui ma donné l'opportunité de bénéficier d'une bonne formation à l'étranger.*

*- Mes ami(e)s Monique, Jean, Gladice, Gilles, Dédé, Carole, Véronique, Berthe, Yolande, Sara, Clara Nadine.....*

*Toutes mes sœurs de la cellule de Guelma, toute la communauté Jogolaise d'Algérie principalement ceux de Guelma sans oublier papa adoré le Berger*

*- La famille J. O. V. N. O. V., à toutes mes tantes et à tous ceux qui me connaissent et je n'ai pas cité*

*- Je remercie et dédie également ce travail à ma très chère amie et binôme sans qui ce projet n'aurait aboutit. C'était un plaisir de travailler avec toi.*

*Que Dieu tout puissant bénisse tout un chacun de vous et vous comble de toutes ses grâces et tous ses biens faits.*

## DEDICACES

Ce modeste travail, je le dédie:

A mon papa, Feu MBILI NTSOGO TOBIE LAZARE et ma maman, NGO NJOCK SARA dont l'amour et le soutien m'ont toujours accompagné. (que Dieu te bénisse maman)

A ma seconde mère, Mme NGUIDJOL ELISE et son époux Mr NGUIDJOL ALBERT.

A mon oncle BIDIASSI ANTOINE et sa petite famille.

A tous les autres membres de ma grande famille en particulier mes sœurs et frères : Frédéric, Reine, Blanche, Sara, Monique, Samuel, Amos, Anthony, Nyobé, Jimmy.

A mes amis : Denise, Berthe, Yolande, Sara, Habiba, Yannick, Franck, Eliane, Arlette, et les tous autres dont je ne pourrai citer les noms.

A mon père et ami, Mr Timothée Mamba.

A tous ceux qui m'ont soutenue, encouragée lors la réalisation de ce projet, en particulier mes sœurs de la cellule de Guelma.

NDIEMI VERONIQUE

## SOMMAIRE

Produced with ScantOPDF

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction.....	1
<b>Chapitre I : L'eau brute destinée à la consommation humaine</b>	
I-1-Généralités.....	2
I-2-Les origines de l'eau : .....	3
I-2-1-Les eaux de sources.....	3
I-2-2-Les eaux minérales.....	3
I-2-3-Les eaux de surface.....	3
I-2-4-Les eaux souterraines.....	4
I-3-Les contaminants de l'eau.....	5
I-3-1-Les contaminants biologiques.....	5
I-3-2-Les contaminants minéraux.....	5
I-3-3-Les métaux lourds.....	5
I-4-Les maladies d'origine hydrique.....	6
I-4-1-Les maladies d'origines bactériennes.....	6
I-4-1-1-Fièvres typhoïdes et paratyphoïdes.....	6
I-4-1-2-Le choléra.....	6
I-4-1-3-Les gastro-entérites aiguës et diarrhées.....	6
I-4-2-Les maladies d'origines parasitaires.....	6
I-4-2-1-La cryptosporidiose.....	7
I-4-2-2-La dysenterie amibienne.....	7
I-4-2-3-La poliomyélite.....	7
I-4-2-4-Les hépatites virales.....	7

I-4-2-5-Les gastro-entérites virales.....	7
I-5-Les neiges de l'ouï.....	7
I-6-Les critères de potabilité.....	8
I-6-1-Les paramètres organoleptiques :.....	8
I-6-1-1-La couleur :.....	8
I-6-1-2-La turbidité.....	9
I-6-1-3-L'odeur.....	9
I-6-1-4-La saveur.....	9
I-6-2-Les paramètres physico-chimiques :.....	9
I-6-2-1-La température.....	9
I-6-2-2-La conductivité électrique.....	9
I-6-2-3-Le pH (Potentiel d'Hydrogène).....	10
I-6-2-4-Les résidus secs.....	10
I-6-2-5-Les matières en suspension.....	10
I-6-2-6-Le rH <sub>2</sub> (Potentiel électrique).....	10
I-6-2-7- Eléments chimiques.....	10
I-6-3-Les paramètres concernant les substances dont les effets toxiques sont connus.....	10
I-6-4-Les paramètres concernant les substances indésirables.....	11
I-6-5-Les paramètres microbiologiques et biologiques.....	13
I-6-5-1-Les paramètres microbiologiques.....	13
I-6-5-2-Les paramètres biologiques.....	13
<b>Chapitre II : Le traitement de l'eau destinée à la consommation humaine</b>	
II-1-La coagulation.....	15
II-2-La flocculation.....	15
II-3-La décantation- flottaison.....	16
II-3-1-La décantation.....	16
II-3-2-La flottaison.....	17
II-1-4-La filtration.....	17

II-5-La clarification.....	17
II-6-L'oxydation.....	17
II-6-1-La préoxydation :.....	18
II-6-2-Inter-oxydation :.....	18
II-6-3-Post-oxydation :.....	18
II-7-La désinfection :.....	18
II-7-1-Le chlore :.....	19
II-7-2- Le dioxyde de chlore ou bioxyde de chlore :.....	20
II-7-3-L'ozone.....	20
II-7-4-Les rayons ultra-violets.....	21
II-7-5-Les chloramines :.....	22
II-8 Les techniques membranaires.....	23
II-8-1-La microfiltration :.....	23
II-8-2-L'ultrafiltration :.....	23
II-8-3-La nanofiltration :.....	23
II-8-4-L'osmose inverse :.....	23
II-8-5-Adsorption sur charbon actif (CA).....	24

### **Chapitre III : Les sous-produits de désinfection et résistance au chlore**

III-1-Les sous-produits de désinfection (SPD).....	25
III-1-1- Identification des principaux SPD.....	25
III-1-1-1-Les trihalogénométhanes (THM).....	25
III-1-1-2-Les acides haloacétiques (AHA).....	27
III-1-1-3-Les haloacétonitriles (HAN),.....	29
III-1-1-4-Le MX:.....	29
III-1-1-5-Le chlorite :.....	29
III-1-1-6-L'hydrate de chloral (HC) :.....	29
III-1-2-Mécanismes de formations des SPD.....	30

III-1-2-1- Chimie de formation : .....	31
III-1-2-2-Les précurseurs des SPD : .....	31
III-1-3-Normes des SPD .....	34
III-1-4-Les risques sanitaires des SPD .....	35
III-1-4-1-L'absorption .....	35
III-1-4-2-Metabolisme.....	37
III-1-4-3-Effets sur la santé : .....	39
III-1-4-4-Effets cancérogènes des SPC .....	41
III-1-4-5-Effets sur le développement et la reproduction.....	46
III-1-5-Réduction ou modélisation des SPD dans l'eau potable : .....	50
III-2-La résistance au chlore .....	52

## **Chapitre IV : Mise en évidence des THM dans l'eau de consommation humaine**

IV-1-Description de la station de traitement .....	55
IV-2-Echantillons et fréquence d'échantillonnages : .....	56
IV-3- Mise en évidence du $\text{CHCl}_3$ et $\text{CHBr}_3$ : .....	56
IV-3-1-Matériel.....	56
IV-3-2-Méthodes : .....	56
IV-3-2-1-Principe : .....	56
IV-3-2-2-Mode opératoire : .....	56
IV-4- Résultats.....	57
Conclusion.....	61

Bibliographie

Annexes

Listes des figures

Figures	Intitulés	Pages
1	Géométrie schématique de la molécule d'eau et de la liaison hydrogène	2
2	Le cycle de l'eau	3
3	Un colloïde	15
3	Coagulation-floculation	16
4	Filtre à sable (normal et colmaté).	17
5	Dispositif de chloration par le chlore gazeux	19
6	Dispositif de chloration au bioxyde de chlore	20
7	Dispositif de traitement à l'ozone	21
8	Dispositif de traitement par UV	21
9	Les membranes de filtration	23
11	Filtration sur CAG	24
12	Modèle de réaction du chlore avec les noyaux aromatiques	31
13	Concentration des SPD en fonction du temps	34
14	Répartition du nombre des cas de cancer de la vessie selon le sexe	43
15	Répartition du nombre de cas de cancer de la vessie selon les tranches d'âge	43
16	Chromatographe du dosage des références $\text{CHCl}_3$ et $\text{CHBr}_3$	57
17	Chromatographe du dosage $\text{CHCl}_3$ et $\text{CHBr}_3$ dans l'eau brute	58
18	Chromatographe du dosage $\text{CHCl}_3$ et $\text{CHBr}_3$ dans l'eau décantée	59

**Liste des tableaux**

<b>Tableaux</b>	<b>Intitulés</b>	<b>Pages</b>
1	Eléments à considérer selon l'origine de l'eau	4
2	Les principales impuretés de l'eau	5
3	Les diverses utilités de l'eau pour l'homme	8
4	Valeurs recommandées pour certains paramètres chimiques	10
5	Normes des substances à effet toxique	11
6	Normes de quelques substances indésirables	13
7	Références de potabilité des eaux brutes	14
8	Comparaison entre les différents modes de désinfection	22
9	Les différents THM	26
10	Caractéristiques du chloroforme	26
11	Propriétés physicochimiques des AHA5	28
12	Classe des SPC connus	30
13	Limites imposées et recommandées pour les SPD par chloration	35
14	Tableau récapitulatif de données sur la toxicité aiguë de divers composés AHA absorbés par voie orale	40
15	Tableau récapitulatif des données sur la toxicité aiguë des divers composés AHA absorbés par voie cutanée	41
16	Effets cancérogènes de quelques SPC chez l'animal	46
17	Effets sur le développement embryo-fœtal du chloroforme chez l'animal.	47
18	Effets sur le développement embryo-fœtal du bromodichlorométhane chez l'animal.	48
19	Effets sur le développement embryo-fœtal du dichloroacétate chez l'animal.	48
20	Effets sur le développement embryo-fœtal chez l'animal d'autres SPD	49
21	Effets sur la reproduction chez l'animal d'autres SPD	50
22	Pourcentage de réduction de SPD obtenu grâce au déplacement de la chloration en aval du traitement	51
23	Résistance au chlore de certains pathogènes de l'eau.	53
24	Présentation de certains paramètres physico-chimiques des eaux de Guelma du 25 Mai 2011	54
25	Principales données chimiques des eaux des ressources gérées par L'E. P. E. A.	55

**AHA** : Acide haloacétique

**BDCM** : Bromodichlorométhane

**CA** : Charbon actif

**CAG** : Charbon Actif en grain

**CAP** : Charbon actif en poudre

**CAS** : Chemical Abstracts Service

**CMA** : concentration maximale acceptable

**CMC** : Concentration maximale de contaminants

**COT** : Carbone Organique Total

**DBA** : Acide Dibromoacétique

**DBCM** : Dibromochlorométhane

**DBO<sub>5</sub>** : Demande biochimique en oxygène

**DCA** : Acide dichloroacétique

**DCAN** : Dichloroacéonitrile

**DCO** : Demande chimique en oxygène

**DL<sub>50</sub>** : Dose létale pour la moitié des sujets exposés (dose médiane)

**EINECS** : Inventaire Européen des substances chimiques commerciales existantes

**EU** : European Union

**HAN** : Haloacéonitrile

**HC** : Hydrate de chloral

**IARC** : International Agency for Research on Cancer

**LOAEL** : Lowest Observed Adverse Effect Level (parfois en français DMENO pour Dose Minimale avec Effet Nocif Observé)

**MBA** : Acide monobromoacétique

**MCA** : Acide monochloroacétique

**MES** : Matières en suspension

**MON** : Matières organiques naturelles

**MX** : 3-chloro-4(dichlorométhyl)-5-hydroxy-2(5H) furanone

**NOAEL** : No Observed Adverse Effect Level (parfois en français DSENO pour Dose Sans Effet Nocif Observé).

**OMS** : Organisation mondiale de la Santé

**pH** : Potentiel d'hydrogène

**SPC** : Sous produits de chloration

**SPD** : Sous produits de désinfection

**SPO** : Sous produits d'ozonation

**TCA** : Acide trichloroacétique

**THM** : Trihalométhane

**TOX** : Composés organohalogenés totaux

**US EPA** : US Environmental Protection Agency

**UV** : Ultra-violets

# INTRODUCTION

Produced with ScanTOPDF

« L'eau, c'est la vie », ce dicton populaire à lui tout seul résume la place capitale de l'eau pour les êtres vivants, de sorte que pour satisfaire à leur besoin en eau, qu'importe sa provenance, elle est utilisée.

Malheureusement, force est de reconnaître que de par ses origines, sa composition et même les activités humaines, cette source de vie peut se révéler extrêmement nocive pour le consommateur, voire mortelle.

Ainsi, avant d'arriver à nos robinets, l'eau captée dans la nature doit subir une série d'opérations de traitement dans une station faite à cet égard ; afin de la rendre potable et sans risque pour la santé du consommateur et ce, grâce à des normes de potabilisation établies par la réglementation en vigueur dans le lieu de traitement.

A cette série d'opérations, se trouve la désinfection qui est d'une grande importance et réalisable de diverses façons, parmi lesquelles la chloration, méthode la plus utilisée dans les stations de traitement, depuis le début du 20<sup>e</sup> siècle jusqu'à nos jours.

Toutefois, il a été prouvé que la chloration entraîne par réaction du chlore avec certains composés dans l'eau traitée, la formation de nombreux sous-produits de chloration (SPC), dont la présence soulève l'inquiétude des scientifiques.

De ce fait, quels sont ces SPC ? Quels sont leurs impacts sanitaires ? Comment les réduire dans l'eau de consommation ?

Autant de questions auxquelles nous essayerons de répondre tout au long de notre travail.

**CHAPITRE I :**

**L'EAU BRUTE DESTINEE A LA  
CONSOMMATION HUMAINE**

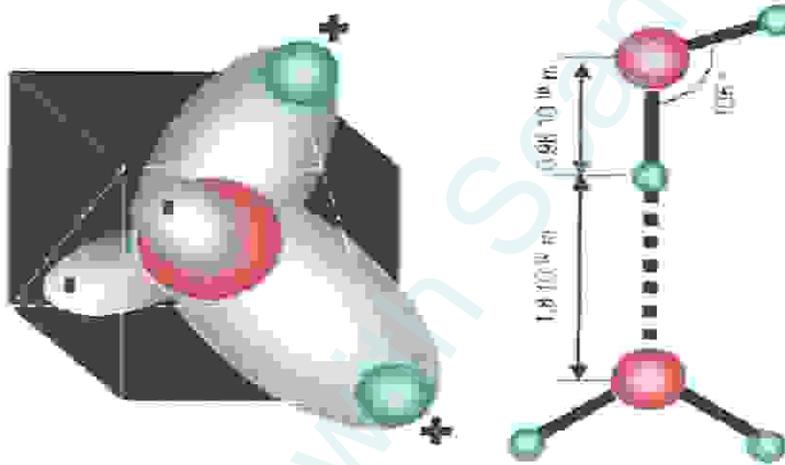
Produced with Scantopdf

L'eau est la substance minérale la plus répandue à la surface du globe et le constituant majeur de la matière vivante.

### I-1-Généralités

La molécule d'eau ( $H_2O$ ) est formée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène, liés par des liaisons covalentes. (F. ANCTIL, 2008).

La molécule d'eau a la forme d'un tétraèdre dans l'espace (état gazeux) avec un angle principal de  $105^\circ$  (voir Fig 1). [1]



**Figure 1 :** Géométrie schématique de la molécule d'eau et de la liaison hydrogène. [1]

L'eau est le seul composé capable de se trouver sous les trois états de la matière en fonction de la température : solide, liquide et gaz (voir Fig 2):

\* **L'état solide** (glace) : Est caractérisé par une structure cristalline due à un assemblage régulier de molécules d'eau qui utilisent chacune leur deux possibilités d'établir des liaisons hydrogène. [1]

\* **L'état gazeux** (vapeur) : Est caractérisé par une absence de forme et de limites physique. A cet état, l'eau entre dans un état de désordre maximal. (M. DEFRANCESCHI, 1996)

La vapeur d'eau surchauffée ( $200-800^\circ C$ ) est un réactif industriel et un vecteur d'énergie pour les machines à vapeur. [2]

\***L'état liquide** : C'est l'état le plus abondant ; il est caractérisé par une forme non définie (celle du récipient qui le contient) ; à cet état, les molécules se déplacent les unes des autres

mais restent au même moment proche à cause de la force des liaisons hydrogènes qui les lient. (M. DEFRANCESCHI, 1996)



**Figure 2** : Le cycle de l'eau. [2]

Elle a diverses origines et contient de nombreux contaminants.

### **I-2-Les origines de l'eau :**

L'eau occupe les trois quart de la surface terrestre c'est-à-dire 72 % des 508 millions de Km<sup>2</sup> de la superficie totale du globe. (BELHABES E. et al, Juin 2004)

#### **I-2-1-Les eaux de sources**

Naturellement potables, les seuls traitements qui leur sont applicables sont l'aération, la décantation et la filtration. [3]

#### **I-2-2-Les eaux minérales**

Ce sont des eaux profondes, naturelles qui possèdent des propriétés particulières (teneurs en oligoéléments et minéraux, leur conférant des vertus thérapeutiques. [3]

On les retrouve sur le marché dans des bouteilles et peuvent subir certains traitements (déferrisation par simple aération et /ou réincorporation du CO<sub>2</sub>, la décantation naturelle). (Khalif M., 2004)

#### **I-2-3-Les eaux de surface**

Elles se subdivisent en eaux circulantes (courantes) ou stockées (stagnantes), issues soit de l'émergence de nappes profondes en sources, soit du rassemblement d'eau de ruissellement. (C. Cardot, 1999). Il s'agit de toutes les eaux naturellement ouvertes sur l'atmosphère, y compris les fleuves, les rivières, les lacs, les réservoirs, les ruisseaux, les lacs de barrage, les mers. (J. Beauchamp, juillet 2006)

Elles sont polluées, riches en matières en suspension, organiques, en gaz dissous, ainsi qu'en plancton. (C. Cardot, 1999). De ce fait elles doivent impérativement être traitées pour être consommables. Leur pollution est d'origine diverses : urbaine, agricole, industrielle (Khalil M., 2004).

#### I-2-4- Les eaux souterraines

Les eaux souterraines sont toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol. Elles constituent 22% des réserves d'eau douce. Elles proviennent de l'accumulation des infiltrations dans le sol et se réunissent en nappes. (C. Cardot, 1999). Elles constituent une ressource naturelle vitale et plus ou moins renouvelable. On distingue trois sortes d'eau souterraine :

\*L'eau de constitution : c'est l'eau qui rentre dans la structure cristalline des minéraux ;

\*L'eau de rétention : c'est l'eau rencontrée dans les argiles, dans les pores et à la surface des grains

\* L'eau libre : c'est l'eau de gravité, l'eau disponible pour les nappes phréatiques et les aquifères, et donc exploitable, par un forage ou un puits.

Elles sont bien protégées par le sol et rarement polluées, par les activités humaines, ce qui implique qu'elles sont naturellement potables. Toutefois par un contact prolongé avec des minéraux et des conditions physico-chimiques particulières, elles peuvent se révéler nocives à la consommation humaine. Dans ce cas, elles contiennent des éléments minéraux indésirables ou toxiques (Fe, Mn, F, Ar...) et des matières organiques naturelles (acide humique, fulvique...) et doivent subir des traitements. [4]. Elles diffèrent des eaux de sources selon les modalités du tableau ci-après.

**Tableau I** : Eléments à considérer selon l'origine de l'eau. (C. Cardot, 1999)

	Eau de surface	Eau souterraine
<b>Eléments insolubles</b>	-MES, matières décantables, colloïdes -Débris animaux et végétaux -Bactéries, virus, parasites	-Bactéries, virus, parasites
<b>Eléments solubles</b>	-Micropolluants minéraux -Micropolluants organiques	-Micropolluants minéraux -Micropolluants organiques

### **I-3-Les contaminants de l'eau**

L'eau brute contient de nombreux contaminants (cf tableau II):

#### **I-3-1-Les contaminants biologiques**

Il s'agit des micro-organismes retrouvés dans les eaux brutes : bactéries, virus, protozoaires ; et qui peuvent avoir une incidence sur la santé du consommateur.

#### **I-3-2-Les contaminants minéraux**

Comme le fer, le manganèse, le cuivre, de l'aluminium, et du zinc, qui peuvent provoquer une coloration et la formation de dépôts dans les réseaux voire de corrosions. (Khallef M., 2004)

#### **I-3-3-Les métaux lourds**

A l'exemple du Cadmium, du plomb, du mercure, du sélénium et de l'arsenic, qui sont souvent absorbés sur les MES dans l'eau brute. (Khallef M., 2004)

**Tableau II** : Les principales impuretés de l'eau (J. Mayet, 1994).

Formes	Natures et Origines
Solides en suspension	Débris de roches, sable argiles, débris végétaux et animaux
Matières en émulsion	Hydrocarbures, corps gras
Matières colloïdales	Argile, silice, composés organiques plus ou moins dégradés.
Matières organiques dissoutes	Végétaux et animaux décomposés, matières de synthèse, pesticides, fongicides
Matières minérales dissoutes	Roches solubilisées, rejet industriels et agricoles, gaz de l'air
Gaz dissouts	CO <sub>2</sub> de décomposition des végétaux, pollution atmosphérique
Organismes vivants du règne animal ou végétal	Vers, larves, insectes, algues planctons, champignons, moisissures, bactéries, virus.

## **I-4-Les maladies d'origine hydrique**

Selon le vecteur contenu dans l'eau, elles peuvent avoir plusieurs origines :

### **I-4-1-Les maladies d'origines bactériennes**

#### **1-4-1-1-Fièvres typhoïdes et paratyphoïdes**

Ce sont des septicémies dues à des salmonelles : *Salmonella typhi* et *Paratyphi A, B et C*. Elles se caractérisent par des fièvres, céphalées, diarrhées, douleurs abdominales et tufhos (abattement extrême). Elles peuvent avoir des complications graves voire mortelles : hémorragies intestinales ; collapsus cardio-vasculaire ; atteintes hépatiques, respiratoires et neurologiques.

La contamination se fait par des matières fécales, des aliments avariés ou par des mains sales. Le traitement se fait par antibiothérapie (par la ceftriaxone, les fluoroquinolones, et le chloramphénicol). (R. Vilagines, 2003)

#### **1-4-1-2-Le choléra**

Causé par le *Vibrio cholerae*, il est à l'origine de diarrhées profuses, de vomissements, de douleurs épigastriques avec anurie et crampes musculaires. Il est mortel sans réhydratation et antibiothérapie. Sa contamination est hydrique et par poignées de mains. (R. Vilagines, 2003)

#### **1-4-1-3-Les gastro-entérites aiguës et diarrhées**

Elles sont provoquées par diverses bactéries : *E coli*, *Campylobacter*, *Jejuni*, *Yersinia enterocolitica*, *Salmonella sp...*

Prenons le cas de *Shigella dysenteriae*, qui provoque les dysenteries bacillaires reconnues plus chez les enfants par les syndromes suivants : syndrome gastro-intestinal avec des douleurs abdominales, expulsion de selles non fécales (nombreuses, sanguinolentes et glaireuses). Elles cèdent à l'antibiothérapie et évitent les complications telles que le choléra, les phlébites, les arthrites. (R. Vilagines, 2003)

### **I-4-2-Les maladies d'origines parasitaires**

#### **I-4-2-1-La cryptosporidiose**

L'agent responsable de cette maladie est *Cryptosporidium parvum*, Elle se caractérise par des diarrhées profuses aqueuses avec des crampes abdominales modérées, nausées et anorexie. (R. Vilagines, 2003)

#### **I-4-2-2-La dysenterie amibienne**

Causée par *Entamoeba histolytica*, elle provoque des entérocolites avec crampes et diarrhées muco-sanglantes dans les cas sévères. (R. Vilagines, 2003)

#### **I-4-2-3-La poliomyélite**

Elle est due au *Poliovirus*, qui est transmis par voie digestive (l'eau) ou par les aliments. Ses symptômes sont : fièvre légère, rhume banal, suivi de paralysies musculaires flasques avec abolition des reflexes et atrophie musculaire précoce. (R. Vilagines, 2003)

#### **I-4-2-4-Les hépatites virales**

L'hépatite A est causée par un virus de la famille des *Picornaviridae*. Sa transmission est oro-fécale ou se fait par des eaux souillées (par des selles infectées par le virus). Son évolution clinique, peut se faire d'une maladie anictérique à l'ictère hépatique sévère et prolongé.

L'hépatite E, a la même expression clinique que l'hépatite A et peut se manifester par un syndrome gastrique fébrile. (R. Vilagines, 2003)

#### **I-4-2-5-Les gastro-entérites virales**

Elles sont causées par des virus tels que : *Rotavirus*, *virus de Norwalk*, *Adénovirus*, *Astrovirus*, *Calicivirus*, et se caractérisent de manière générale par des vomissements, diarrhées, nausées, fièvres, douleurs abdominales. (R. Vilagines, 2003)

### **I-5-Les usages de l'eau**

Ils sont divers et nombreux ( voir tableau III) :

**Tableau III:** Les diverses utilités de l'eau pour l'homme. (R. Vilagines, 2003)

Usages	Buts
Industriel	*Fonction d'entraînement : lavage et élimination des déchets et transport (hydraulique de charbon, pâte à papier.) ; *Fonction de refroidissement : désinstallation ; *Fonction de réaction chimique : solvant-diluant, pour la constitution de bains divers, fabrique d'acide sulfurique ; colorants, décapage, réaction de réduction par la vapeur d'eau ; *Produit de consommation : fabrication de bière, boissons gazeuses.
Domestique	*Boisson : 1%                      *Cuisine : 6% ; *Bains-douche : 39%            *Sanitaire : 20% ; *Lessive : 12%                    *Vaisselle: 10% ; *Divers: 6% *Lavage voiture et jardinage : 6%
Agricole	Irrigation, arrosage
Energétique	Dans les barrages pour la production de l'électricité

### 1-6-Les critères de potabilité

Une eau est dite potable quand elle satisfait ou répond à un certain nombre de critères ou normes spécifiques (dont la majorité indiquées dans ce travail, sont des canadiennes), la rendant propre à la consommation humaine.

#### **1-6-1-Les paramètres organoleptiques :**

Ces paramètres concernent la couleur, la transparence, la saveur et l'odeur de l'eau. Cependant ces critères n'ont pas de valeur sanitaire directe. Une eau peut être trouble, colorée ou avoir une odeur particulière et néanmoins être consommable.

### **I-6-1-1-La couleur :**

La vue de l'eau contenue dans un verre, nous semble translucide et incolore mais elle est en réalité bleue. (F. ANCTIL, 2008)

Quand la lumière traverse un objet transparent, elle est transmise selon une couleur qui dépend de la longueur d'onde absorbée. Ainsi donc la couleur bleue de l'eau est due au fait qu'elle absorbe la partie rouge de la lumière blanche émise par le soleil. Cependant, l'on ne détecte pas le bleu diffusé par l'eau du verre car la quantité diffusée est très petite. (F. ANCTIL, 2008)

Elle peut être due à des substances minérales à l'instar du Mn, Fe et /ou de substances organiques (algues, protozoaires, substances humiques...). [5]

### **I-6-1-2-La turbidité**

C'est l'opalescence de l'eau. (F. Berne et J. Cordonnier, 1991). Elle démontre la présence des matières en suspension dans l'eau (débris organiques, micro-organismes, argiles...). On dit dès lors de l'eau qu'elle est trouble. Elle se mesure grâce au turbidimètre. La turbidité de l'eau potable ne doit pas dépasser 3 NTU (Nephelometric Turbidity Units). [5]

### **I-6-1-3-L'odeur**

Elle dérive surtout de la dégradation des composés azotés ou soufrés, amines, ammoniac, mercaptans. Le  $H_2S$  est le composé le plus problématique de par son odeur d'œuf pourri. [5]

### **I-6-1-4-La saveur**

Causée par de nombreuses molécules, elle n'est pas un indicateur de pollution de l'eau. Mais c'est l'une des principales préoccupations formulées par les utilisateurs à l'égard de l'eau qui leur est fournie. [5]

## **I-6-2-Les paramètres physico-chimiques :**

### **I-6-2-1-La température**

D'elle, dépendent les équilibres physiques et chimiques (solubilité des sels, des gaz). Au-delà de  $25^{\circ}C$ , les risques de contaminations bactériennes et virales augmentent. La température d'une eau potable est d'environ  $20^{\circ}C$ . [6]

**I-6-2-2-La conductivité électrique**

Pour une eau, c'est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm. Elle est très liée à la concentration et à la nature des substances dissoutes. Pour une eau potable elle est  $\leq 400 \mu S/cm$ . [6]

**I-6-2-3-Le pH (Potentiel d'Hydrogène)**

Il donne une indication sur la teneur de l'eau en ions hydrogènes. C'est un facteur important dans le traitement de l'eau car certains procédés nécessitent d'être réalisés avec un pH spécifique pour être efficaces. Par exemple, les réactions mettant en jeu le chlore, n'ont lieu que pour des pH de l'ordre de 6,5 à 8. Le pH d'une eau dépend de la nature des sols. Celui d'eau potable se situe entre 6,5 et 8,5. [6]

**I-6-2-4-Les résidus secs**

Il s'agit des solides en suspension et ceux dissouts restant après évaporation à 180°C (maximum : 1,500 mg/l). [6]

**I-6-2-5-Les matières en suspension**

Leur mesure fournit la quantité de substances dissoutes et ce par filtration sous-vide ou sous-pression de l'échantillon. [6]

**I-6-2-6-Le rH<sub>2</sub> (Potentiel électrique)**

C'est un calcul qui indique pour un pH donné, l'état d'oxydation ou de réduction d'une solution. [6]

**I-6-2-7- Eléments chimiques**

Ils sont nombreux et quelques uns ont été reportés dans le tableau suivant :

**Tableau IV:** Valeurs recommandées pour certains éléments chimiques. [6]

Substances	Normes (max en mg/l)
Chlorures	200
Sulfates	250
Magnésium	50
Sodium	150
Potassium	12

### 1-6-3-Les paramètres concernant les substances dont les effets toxiques sont connus

Le tableau suivant indique quelques uns d'entre eux :

**Tableau V** : Normes des substances à effet toxique. [7]

Substances toxiques	Normes (max en µg/l)
Arsenic	50
Cadmium	5
Cyanures	50
Chrome total	50
Mercure	1
Nickel	50
Plomb	50
Sélénium	10
Antimoine	10
Hydrocarbures polycycliques aromatiques	0.2

### 1-6-4-Les paramètres concernant les substances indésirables

Leur présence est tolérée en faible quantité et réglementée. Certaines provoquent des désagréments pour le consommateur et d'autres peuvent avoir une incidence sur la santé :

\*L'azote sous forme de nitrite et de nitrate, afin d'évaluer la toxicité de l'eau potable et l'eutrophisation :

\*Nitrates ( $\text{NO}_3$ ) : Peuvent provoquer un mauvais transfert de l'oxygène vers le sang, surtout chez les nourrissons de moins de 6 mois. [8]

\*Nitrites ( $\text{NO}_2$ ) : Ils peuvent entraîner la formation des nitrosamines. [8]

\*L'azote global ( $N_{GL}$ ) : C'est l'ensemble formé par l'azote organique, ammoniacal et les formes oxydées (nitrites et nitrates) (E. Koller, TDPI, Dunod, 2004)

\*L'azote Kjeldahl ( $N_{TK}$ ) : Forme réduite d'azote (azote organique et ammoniacal) (E. Koller, 2004)

\*Oxydabilité : Permet d'estimer indirectement la quantité de matières organiques présentes dans l'eau et pouvant donner de mauvaises odeurs et des sous-produits combinés au chlore. [8]

\*Test « coliformes fécaux » : pour l'évaluation de la pollution microbienne des eaux. (E. Koller, 2004)

\*DBO<sub>5</sub> (demande biochimique en oxygène) correspond à la quantité de polluants biodégradables. Cette méthode d'analyse de pollution correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pendant 5 jours aux micro-organismes (bactéries) présents dans l'eau pour oxyder une partie des matières carbonées à 20°C, à l'obscurité. Elle s'exprime en mg O<sub>2</sub>/l. (E. Koller, 2004)

\*DCO (demande chimique en oxygène) : Elle correspond à la quantité totale de pollution oxydable mais aussi, à la quantité d'oxygène qu'il faut fournir grâce à des réactions chimiques puissantes pour oxyder les matières contenues dans l'effluent. Elle s'exprime en mg O<sub>2</sub>/l. (E. Koller, 2004)

\*MES : dont la mesure permet de déterminer la quantité de matières organiques et minérales en suspension dans l'eau. Elles caractérisent la pollution particulière d'une eau. (C. Cardot, 1999)

Ces trois derniers paramètres permettent de quantifier la pollution carbonée.

\*Hydrocarbures dissous : C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> (composés organiques).

\*Phénol : composé de synthèse, toxique, provoquant des brûlures graves sur la peau.

\*Fer : Il est à l'origine d'un goût désagréable et d'une coloration parasite.

\*Manganèse : Il provoque un goût désagréable et une coloration parasite.

\*Cuivre : Cause coloration et turbidité.

\*Zinc : Il donne une saveur astringente à l'eau.

\*Phosphore : Favorise le développement des algues.

\*Fluor : à faible dose, protège les dents contre les caries. A très forte dose, il pourrait causer des lésions dentaires telles que les taches ou les dents cassantes, et des douleurs osseuses. [8]

**Tableau VI** : Normes de quelques substances indésirables. [8]

Substances	Normes (max en mg/l)
NO <sub>3</sub>	50
NO <sub>2</sub>	0,1
NH <sub>4</sub>	0,5
Hydrocarbures dissous	0,01
Phénol	0,0005
N <sub>TK</sub>	1
Oxydabilité au KMnO <sub>4</sub>	5
Fe	02
Mn	005
Cu	1
Zn	5
P	5
Ar	10
F	1,5

### I-6-5-Les paramètres microbiologiques et biologiques

#### I-6-5-1-Les paramètres microbiologiques

L'eau potable ne doit pas contenir de bactéries, de virus pathogènes, de salmonelles, de staphylocoques, de phages fécaux, d'entérovirus, de coliformes, de streptocoques fécaux, de *Pseudomonas aeruginosa*, de « germes test » de contamination (inoffensifs et qui signalent la présence de germes pathogènes); à l'origine d'infections sans gravité (diarrhées) ou mortelles (méningite, choléra).

Ils sont efficacement détruits par clarification et désinfection. Etant difficiles à détecter, on recherche des germes non toxiques à l'instar de *E. coli* toujours associé à des pathogènes d'origine fécale. [9]

#### I-6-5-2-Les paramètres biologiques

Les organismes présents dans l'eau peuvent être utilisés comme indicateurs de la qualité de l'eau. Etant plus sensibles, ils sont qualifiés de « polluo-sensibles » à l'exemple de la daphnie ou des truites dont l'augmentation du taux de mortalité peut impliquer une pollution. [9]

De manière générale, ces paramètres peuvent être résumés selon ce tableau ci :

**Tableau VII : Références de potabilité des eaux traitées. [10]**

Paramètre	Références de qualité	Unités	Observations
<b>Paramètres microbiologiques</b>			
Bactéries coliformes	0	N/100 ml	☹
Bactéries sulfite-réductrices y compris les spores	0	N/100 ml	
Numération de germes aérobies revivifiants, à 22°C et 37°C	variation dans un rapport de 10 par rapport à la valeur habituelle	N/ml	
<b>Paramètres physico-chimiques</b>			
Aluminium total	200	µg/l	☹ et pas de changement avéré
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	0,1	mg/l	
Carbone organique total (COT)	2	mg/l	
Oxydabilité au KMnO <sub>4</sub>	5	mg/l O <sub>2</sub>	☹
Chlorure libre et total	absence d'odeur ou de saveur désagréable		
Chlorites	0,2	mg/l	☹
Chlorures	250	mg/l	
Conductivité	< 200 et < 1 100	µS/cm à 25°C	☹
Couleur	15	mg/l (Pt)	☹
Cuivre	1	mg/l	☹
Équilibre carbonocarbonique (agressivité)	les eaux doivent être à l'équilibre calcocarbonique ou légèrement incrustantes		
Fer total	200	µg/l	☹
Manganèse	50	µg/l	
Odeur	pas d'odeur détectée pour un taux de dilution de 1 à 25°C		
pH	> 6,5 et < 8	Unités pH	☹
Saveur	pas de saveur détectée pour un taux de dilution de 1 à 25°C		
Sodium	200	mg/l	☹
Sulfates	250	mg/l	
Température	25	°C	
Turbidité	2	NFU	☹ au robinet du consommateur
	0,5	NFU	☹

(1) Ce paramètre doit être mesuré lorsque l'eau est d'origine superficielle ou influencée par une eau d'origine superficielle.

(2) A l'exception des eaux ayant subi un traitement thermique pour la production d'eau chaude pour lesquelles la valeur de 500 µg/l ne doit pas dépassée

(3) Pour les eaux souterraines, référence de qualité à 0,50 mg/l si l'origine de l'ammonium est naturelle.

(4) Les eaux ne doivent pas être corrosives.

(5) Acceptable pour les consommateurs.

(6) Les eaux ne doivent pas être agressives.

(7) La référence de qualité est applicable au point de mise en distribution pour les eaux douces superficielles et les eaux de milieu fissuré présentant une turbidité périodique importante et supérieure à 2 NFU. En cas de mise en œuvre d'un traitement de neutralisation ou de reminéralisation, la référence de qualité s'applique hors augmentation éventuelle de turbidité due au traitement.

**CHAPITRE II :**

**LE TRAITEMENT DE L'EAU DESTINEE  
A LA CONSOMMATION HUMAINE**

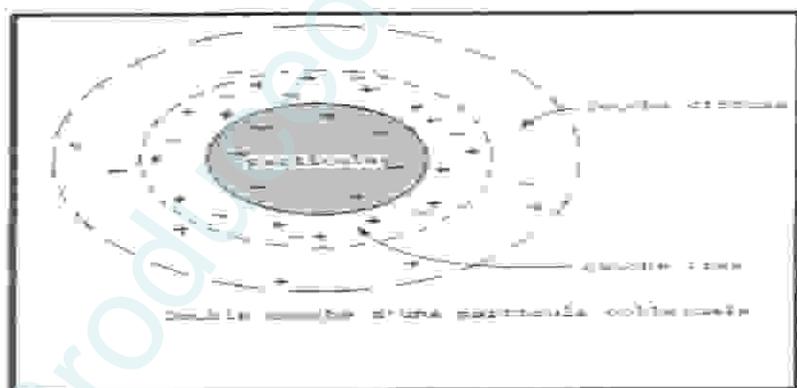
Le traitement de l'eau destinée à la consommation comporte différentes étapes qui ont pour but d'éliminer ou de réduire en quantité les éléments susceptibles de provoquer des troubles de la santé chez l'homme. Ces étapes reposent sur divers procédés, physiques, chimiques et débutent tout d'abord par le prélèvement de l'eau à partir des sources bien définies grâce à des pompes.

### II-1-La coagulation

Les colloïdes sont des particules de faible taille (1 $\mu$ m-1nm) responsables de la couleur et de la turbidité des eaux de surface ; se liant parfois aux molécules d'eau (voir fig 3). Ces particules étant chargées négativement, se repoussent très fortement entre elles, empêchant toute agglomération.

La coagulation est ainsi le procédé de neutralisation de ces charges électrostatiques de répulsion pour permettre leur rencontre. Cela se fait par l'utilisation de coagulants dont l'action s'effectue dans la neutralisation de la charge primaire de chaque colloïde (par action des ions de charge inverse à celle des colloïdes qu'ils renferment) ; et puis par piégeage dans les précipités.

Les réactifs les plus utilisés comme coagulants sont les sels cationiques trivalents ( $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$  ...) à l'instar du sulfate d'alumine ou du chlorure de fer. (C. Cardot, 1999)

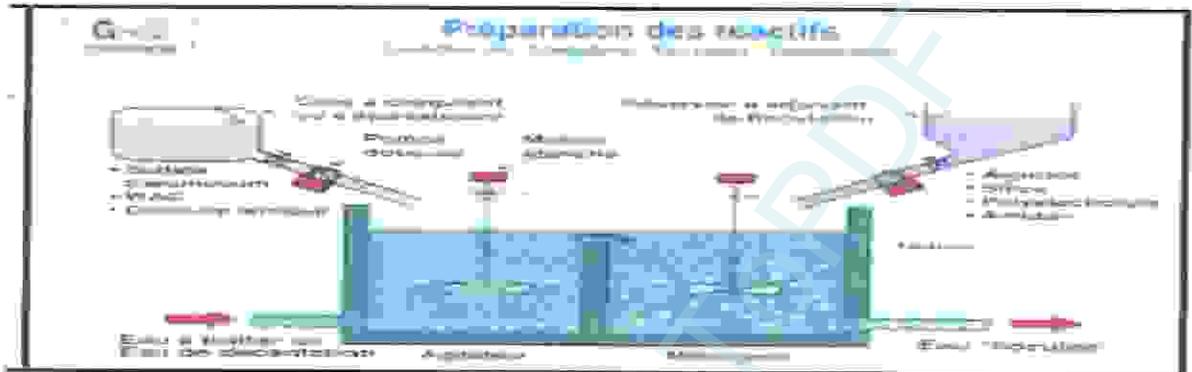


**Figure 3** : Un colloïde. [11]

### II-2-La floculation

C'est le procédé d'agglomération des particules colloïdales lorsqu'elles entrent en contact et ce, après leur déstabilisation par un coagulant (cf fig4). Cet agglomérat (floc) peut décanter, flotter ou filtrer selon la méthode retenue la plus adéquate.

Les flocculants utilisés sont des composés agissant par pontage, de poids moléculaires élevés et pouvant être naturels ou synthétiques. (C. Cardot, 1999) Il s'agit des polyélectrolytes, des alginates de sodium, la silice activée, etc... [11]



**Figure 4:** Coagulation-floculation. [11]

### II-3-La décantation- flottaison

Après coagulation-floculation, ces processus interviennent pour la séparation des MES et des floccs :

\*Si la densité des floccs est supérieure à celle de l'eau, la décantation est applicable.

\*Si la densité des floccs est inférieure à celle de l'eau, il faut appliquer la flottaison. (C. Cardot, 1999)

#### II-3-1-La décantation

La décantation permet l'élimination des matières premières en suspension, colloïdales et la sédimentation des solides plus denses et gros en réduisant la vitesse de l'eau.

Pour éliminer les particules fines (argile, limons et poussières), on fait le dégrillage et le tamisage qui consistent à éliminer les plus grosses impuretés en faisant passer l'eau à travers une grille de tôles perforées et un tamis à mailles fines retenant des déchets plus petits. (Jacques MAYET 1994). Elle se fait grâce à de nombreux décanteurs (statique, lamellaire, à contact de boues, à floccs lestés, etc...). (C. Cardot, 1999)

#### II-3-2-La flottaison

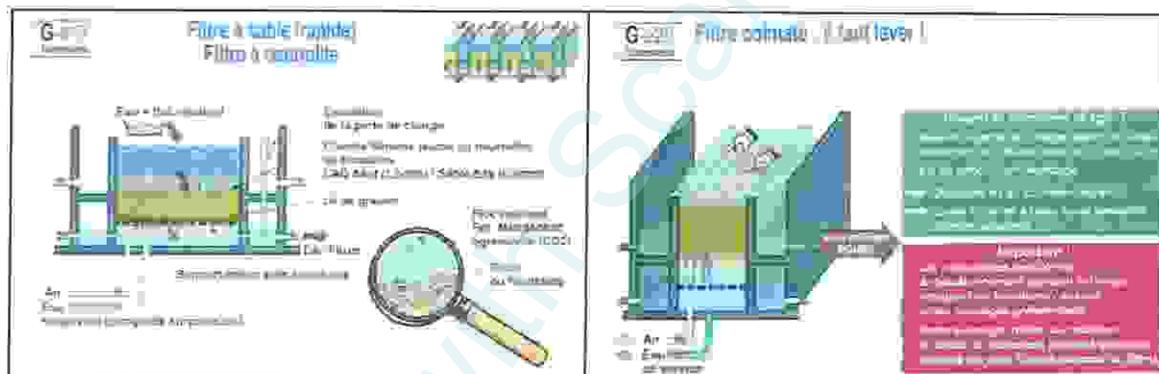
C'est une méthode de séparation (liquide – solide), reposant sur la formation d'un ensemble (attelage) plus léger que l'eau, constitué de particules (de diamètre 1-400  $\mu\text{m}$ ) à éliminer, de bulles d'air et des réactifs. (C. Cardot, 1999)

### II-1-4-La filtration

Cette technique permet d'éliminer les bactéries, la couleur et la turbidité.

Elle se base sur la clarification d'un liquide renfermant des MES par passage dans un milieu poreux composé d'un matériau granulaire (retenant les particules à la surface des grains par des forces physiques) à l'instar du sable, de l'antracite.

On utilise pour cela des filtres ouverts ou fermés sous pression (cf fig 5). Toutefois, ces filtres peuvent être soumis aux phénomènes de colmatage (obstruction progressive des interstices du matériau filtrant due à l'accumulation progressive des MES). On utilise le retrolavage pour y remédier (lavage par inversement du sens d'écoulement de l'eau). (C. Cardot, 1999)



**Figure 5:** Filtre à sable (normal et colmaté). [11]

### II-5-La clarification

Elle permet de rendre l'eau limpide en la débarrassant des petites matières en suspension qu'elle contient. [11]

### II-6-L'oxydation

Elle est incluse au niveau de la désinfection des eaux potables par l'utilisation d'oxydant ( $\text{Cl}_2$  et dérivés, ozone...).

#### II-6-1-La préoxydation :

Elle a pour objectifs :

- \*L'élimination des algues, goûts, odeurs, couleur ;
- \*L'oxydation des micropolluants minéraux tels que  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  ;

\*La dégradation plus ou moins complète des micropolluants organiques.

Les oxydants utilisés sont le  $\text{Cl}_2$  et ses dérivés, le  $\text{ClO}_2$ , l'ozone. Toutefois, le  $\text{Cl}_2$  est le plus employé pour l'élimination de  $\text{NH}_4^+$  et de ses algues, mais son inconvénient réside dans la formation de SPC. (C. Cardot, 1999)

### II-6-2-Inter-oxydation :

Elle se fait pour :

\*L'élimination des micro-polluants organiques du type pesticide

\*L'amélioration des qualités organoleptiques et suppression des micro-organismes plus résistants (virus, kystes, protozoaires et spores)

L'ozone est l'oxydant le plus utilisé mais il entraîne la formation de SPO. (C. Cardot, 1999)

### II-6-3-Post-oxydation :

Elle permet l'inhibition des micro-organismes en sortie d'usine et d'assurer un résidu de désinfectant dans le réseau pour garantir la protection sanitaire de l'eau. On recherche ainsi un effet bactéricide ou biocide qui consiste en un abattement des germes et un effet bactériostatique sur le réseau. On utilise le chlore qui est puissant, rémanent et peu coûteux. (C. Cardot, 1999)

### II-7-La désinfection :

Elle a pour objectif l'élimination des bactéries, des parasites, des micro-organismes pathogènes et virus pour obtenir une eau bactériologiquement potable.

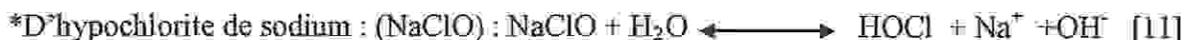
C'est une post-oxydation pouvant se faire par des oxydants chimiques tels que : le chlore, le dioxyde de chlore, l'ozone, et parfois les ultra-violetts (procédé physique). (C. Cardot, 1999)

#### II-7-1-Le chlore :

Il a une bonne efficacité sur le fer, l'ammoniaque et le manganèse et facilite la clarification (cf fig 6). Il est introduit dans l'eau à partir :

\*De chlore gazeux ( $\text{Cl}_2$ ) :  $\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HClO} + \text{Cl}^- + \text{H}_3\text{O}^+$  (C. Cardot, 1999)

Acide hypochloreux.



Acide hypochloreux

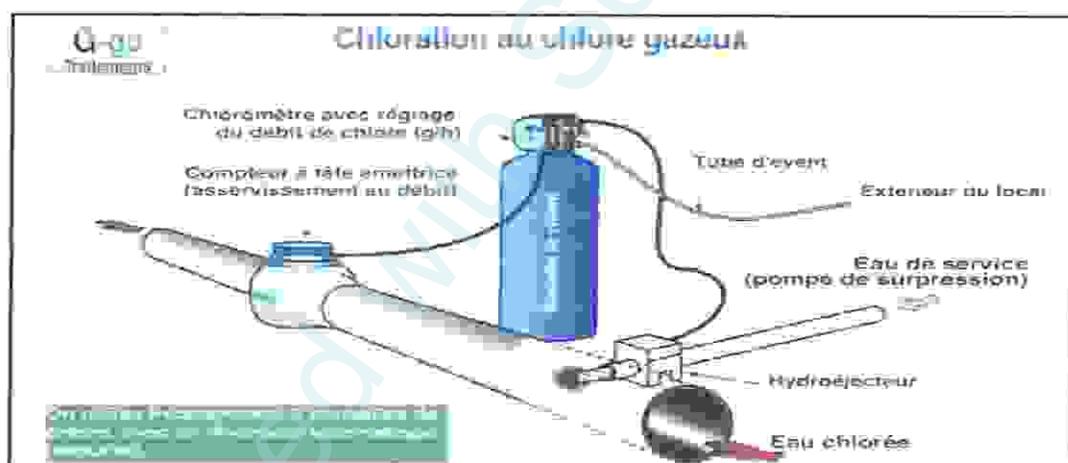
Etant faible, cet acide se dissocie suivant l'équilibre :



Ion hypochlorite

Ces deux formes existent selon les valeurs du pH en solution ; C'est un paramètre important à contrôler afin de maintenir ainsi une concentration suffisante en HOCl (qui est plus désinfectant que le ClO<sup>-</sup>).

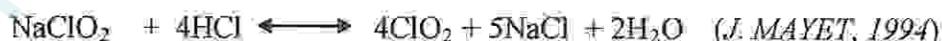
Toutefois, l'utilisation de toute forme de chlore induit la formation de sous-produits de désinfection nombreux (environ 1000 molécules identifiées) de nature organochlorés et organobromés présentant un certain potentiel cancérigène. (C. Cardot, 1999)



**Figure 6 :** Dispositif de chloration par le chlore gazeux. [11]

### II-7-2- Le dioxyde de chlore ou bioxyde de chlore :

De formule ClO<sub>2</sub>, il est produit sur place par réaction lente du chlorite de sodium avec le chlore ou l'acide chlorhydrique selon la réaction suivante:



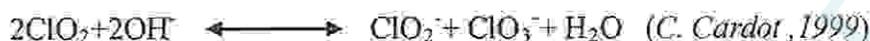
Le bioxyde de chlore se conserve 4 à 5 heures en solution diluée et se stocke momentanément avant injection. C'est un puissant oxydant qui agit plus rapidement que le chlore sur les matières oxydables mais n'a aucune action sur le manganèse (voir fig 7).

Contrairement au chlore gazeux, il a un champ limité sur les matières organiques et il ne produit pas des THM mais peut former des chlorites et des chlorates (qui sont des composés pouvant être cancérogènes). [11]

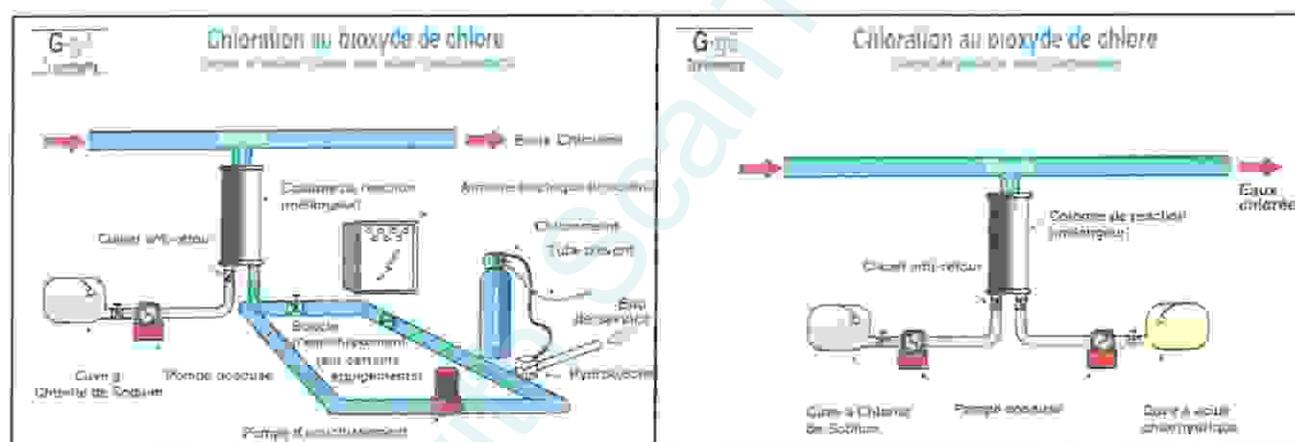
En solution dans l'eau, il se dissout comme suit:



En milieu basique :



Chlorite      Chlorate



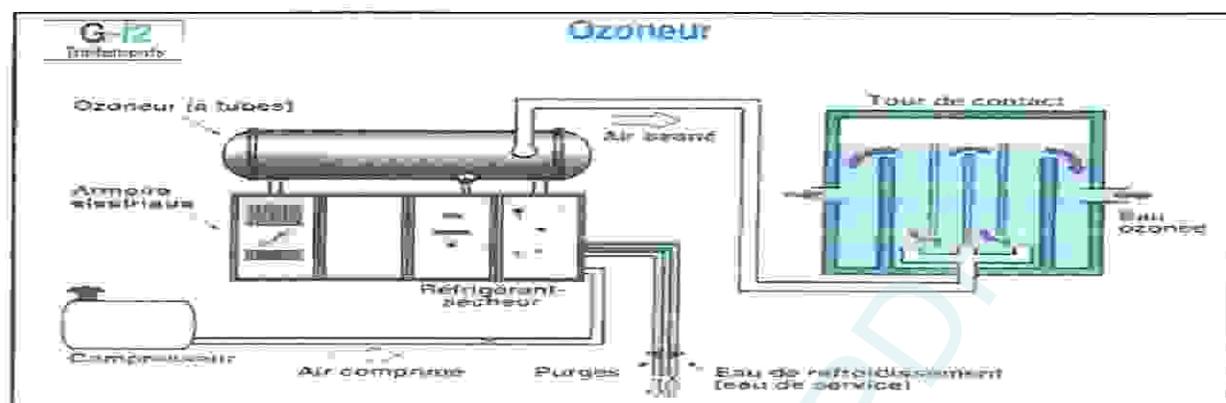
**Figure 7 :** Dispositif de chloration au bioxyde de chlore. [11]

### II-7-3-L'ozone

L'ozone (O<sub>3</sub>) est une variété allotropique instable de l'oxygène, produit dans des ozoneurs (voir figure ci-dessous). (J. MAYET, 1994)

Découverte en 1840, sa décomposition produit des radicaux libres lui conférant une action oxydante indirecte très forte. (OH et HO<sub>2</sub> hydroperoxyde, en majorité). (C. Cardot, 1999)

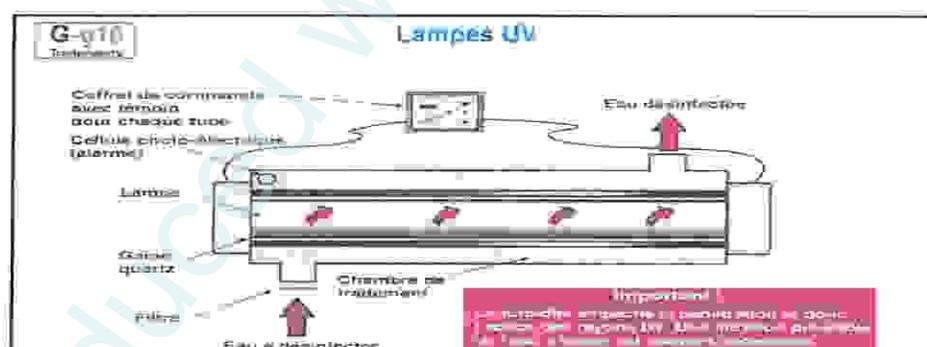
L'eau est désinfectée grâce à l'ozone, qui a une action bactéricide et antiviral. Ce gaz, mélangé à l'eau, agit aussi sur les matières organiques en les cassant en morceaux. Cette technique ne modifie en rien la teneur en sels minéraux de l'eau traitée mais elle améliore la couleur et la saveur de l'eau (cf fig 8). (J. MAYET, 1994)



**Figure 8 :** Dispositif de traitement à l'ozone. [11]

### II-7-4- Les rayons ultra-violet

Ils se situent dans un domaine de 200-400 nm et sont de trois types : UV A, B et C. (C. Cardot, 1999). Ils sont émis par des lampes à basse et haute pression de vapeur de mercure, leur action ne dépend du pH. (J. MAYET, 1994). Seuls les UV C ont une action biocide, leur effet germicide est maximale pour une longueur d'onde de 253,7nm. Cette désinfection se fait sans aucun ajout de produits chimiques. De plus les propriétés physico-chimiques de l'eau sont gardées et il n'y a pas de formation de SPD (cf fig 9). (C. Cardot, 1999)



**Figure 9 :** Dispositif de traitement par UV. [11]

### I-7-5- Les chloramines :

Généralement préparées à partir du chlore et de l'ammoniac ou des sels ammoniacaux, leur action bactéricide est plus lente que celle du chlore, mais l'effet rémanent est plus important du fait de leur stabilité. Elles n'induisent pas la formation de composés haloformes. Elles peuvent présenter un intérêt dans certains cas tels que : longs réseaux avec temps de séjour et

températures élevées ; canalisations avec revêtements donnant des mauvais goûts en cas d'utilisation du chlore. (Khallef M., 2004)

**Tableau VIII:** Comparaison entre différents modes de désinfection. (Khallef M., 2004)

Paramètres	Chlore	Ozone	Dioxyde de chlore( $\text{ClO}_2$ )	Chloramines $\text{NH}_2\text{Cl}$	Rayons UV
Source	- $\text{Cl}_2$ -Eau de javel -Généré sur site	Généré sur site	Généré sur site	Généré sur site	Généré sur site
Utilités	DP, DS, GO, C, Ox	DP, DS, GO, C, Ox, FB	DP, DS, GO, C, Ox	DS	DP
Sous-produits de désinfection	-THM -AIA	-Bromates -CODB	-Chlorites -Chlorates	-HAN -Aldéhydes	Aucun
Avantages	-Coût -Facilité d'utilisation	-Contrôle des goûts/des odeurs et couleurs -Peut être combiné à une filtration biologique	-Ne réagit pas avec l'ammoniac -Ne forme pas des THM et AHA -Excellent pour oxyder Fe et Mn	-Formation minime de THM et AHA -Meilleure persistance que le $\text{Cl}_2$ en réseau -Plus efficace que le $\text{Cl}_2$ pour contrôler la recroissance	-Facile à ajouter à une installation existante -Efficace en eau froide -Coût compétitif -Aucun SPD
Désavantages	-Risques reliés au chlore gazeux -Goût et odeur -THM	-Procédé relativement complexe -Pas de résiduel persistant -Bromates	Chlorites/chlorates -Goûts et odeurs pour certains types d'eau - $\text{ClO}_2$ résiduel recommandé 0,8 ppm -Sécurité relié à l'utilisation de $\text{NaClO}_2$	-Possibilité de nitrification en réseau -Faible efficacité comme désinfectant primaire	-Pas de résiduel persistant -Technologie en validation -Encrassement possible des lampes selon les types d'eau
Efficacités en désinfection					
Virus	Très bonne	Excellente	Bonne	Faible	Acceptable
Giardia	Acceptable	Très bonne	Bonne	Faible	Très bonne
Cryptosporidium	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Excellente

DP : Désinfection primaire ; DS : Désinfection secondaire ; Ox : Oxydation du Fe et Mn ; GO : Goût et Odeur ; C : Couleur ; FB : Filtration Biologique

## II-8- Les techniques membranaires :

Les membranes sont des parois minces, liquides ou solides résistant sélectivement au transfert des différents composants d'un fluide (cf fig 10). (C. Cardot, 1999)

Ces techniques permettent de traiter efficacement les paramètres de turbidité, de goût, de SPD et de bactériologie le plus souvent par des phénomènes de filtration tels que :

### II-8-1-La microfiltration :

Pour les particules en suspension, de diamètre  $> 20\text{nm}$ . Permet le rejet des MHS, colloïdes, et des bactéries et en plus la composition physico chimique de l'eau demeure inchangée. Elle se substitue très bien à la clarification mais n'élimine pas les pesticides et les SPO (membranes en polycarbonate et polyester). (C. Cardot, 1999)

### II-8-2-L'ultrafiltration :

Elle retient toutes les particules en suspension, les colloïdes et les micro-organismes, y compris les virus ; mais n'élimine pas comme la microfiltration, les micropolluants organiques. (C. Cardot, 1999)

### II-8-3-La nanofiltration :

La membrane utilisée élimine les petites molécules dissoutes telles que les pesticides, les acides humiques et fulviques, le carbone organique dissous biodégradable. (C. Cardot, 1999)

### II-8-4-L'osmose inverse :

C'est un procédé de purification de l'eau ; cette technique permet de dessaler l'eau de mer et de produire de l'eau ultra-pure pour l'industrie. [11]

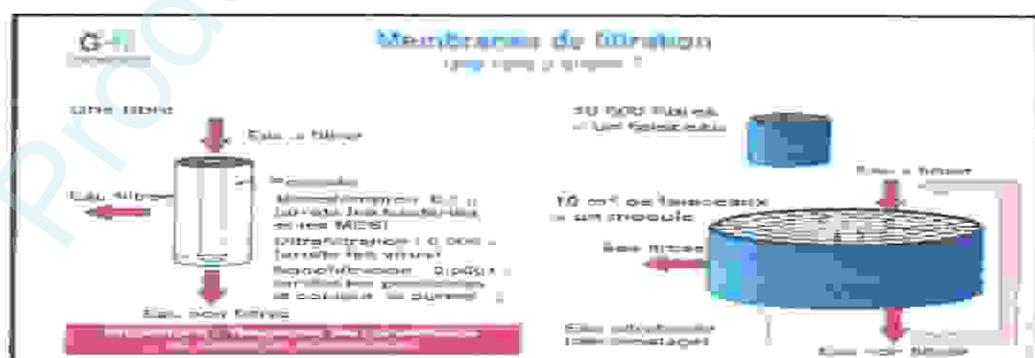


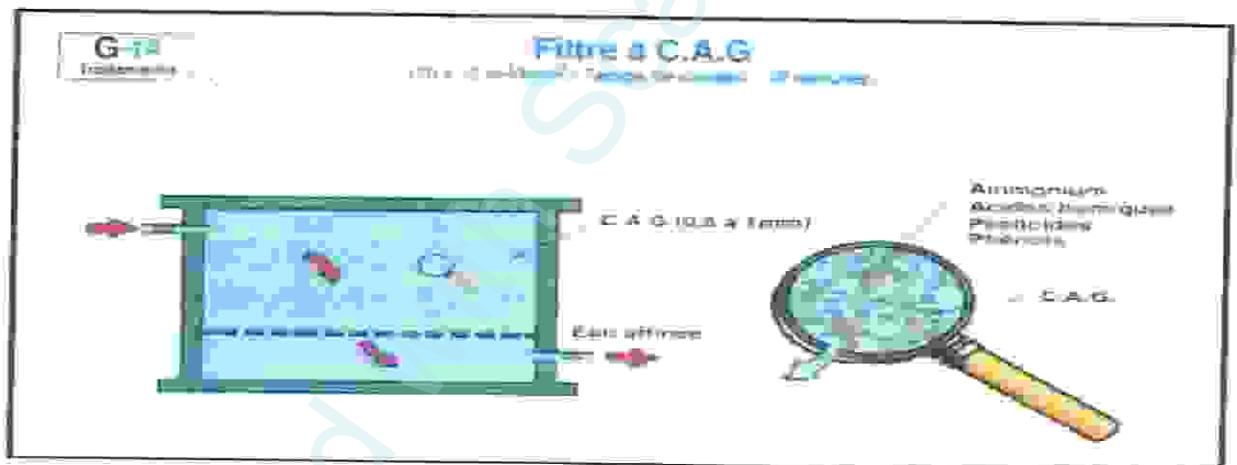
Figure 10: Les membranes de filtration. [11]

### II-8-5- Adsorption sur charbon actif (CA) :

Du fait de leur grande porosité, et d'une surface spécifique plus importante, le CA a un grand pouvoir d'adsorption en poudre (CAP) comme en grain (CAG) ; afin de fixer les substances impossibles à éliminer par traitement classique.

Le CA est majoritairement employé pour l'élimination des micropolluants organiques (pesticides et composés sapides) et de la matière organique (sous forme de carbone organique dissous biodégradable) par la présence d'une biomasse colonisatrice à la surface du charbon. (C. Carlot, 1999)

Il permet d'éliminer aussi l'ammoniaque, de diminuer les risques de contamination bactérienne dans les réseaux de distribution, d'améliorer la qualité organoleptique de l'eau (cf fig 11). [11]



**Figure 11:** Filtration sur CAG. [11]

**CHAPITRE III :**

**LES SOUS-PRODUITS DE  
CHLORATION ET RESISTANCE AU  
CHLORE**

Les sous-produits de désinfection sont des substances chimiques, organiques et inorganiques pouvant se former lorsqu'un désinfectant réagit avec de la matière organique présente dans l'eau.

### **III-1-Les sous-produits de désinfection (SPD)**

#### **III-1-1- Identification des principaux SPD**

La majorité des SPD ont été découverts par des tests de chromatographie gazeuse. Ils peuvent être volatils et hydrophobes ou non-volatils et hydrophiles (contenant des substances aromatiques et aliphatiques). Ils sont de plusieurs types, en fonction du désinfectant utilisé ; le chlore étant le désinfectant le plus utilisé dans la potabilisation de l'eau, les SPD par chloration sont les plus étudiés. [12]

Les principales classes de SPD par chloration incluent les organohalogénures, comme les trihalométhanes, les acides haloacétiques, les haloacétonitriles, les chlorophénols, l'hydrate de chloral et la chloropicrine. On rapporte également la présence d'autres SPD non halogénés sous forme d'aldéhydes, de cétoacides, de cétones, d'acides carboxyliques, d'acides maléiques, de nitrosamines, d'acides alcanoïques et de benzène. Cependant les trihalométhanes et les acides haloacétiques sont les composés les plus fréquemment observés dans l'eau potable chlorée et ils constituent les groupes de SPD les plus vastes. (S. E. Hrudey, 2008).

#### **III-1-1-1-Les trihalogénométhanes (THM)**

Les THM sont des composés chimiques de la famille des halogénoalcanes qui regroupe les dérivés halogénés trisubstitués du méthane ( $\text{CH}_4$ ), c'est-à-dire les molécules de méthane où trois des quatre atomes d'hydrogène ont été substitués par des atomes d'halogène. Beaucoup de THM sont utilisés dans l'industrie comme solvants ou comme réfrigérants. Ils sont aussi des polluants, et beaucoup sont considérés comme cancérogènes. [13]

Ils sont hydrophobes et volatils ; et sont représentés essentiellement par le groupe suivant nommé THM4 : le chloroforme, le bromodichlorométhane, le dibromochlorométhane et le bromoforme (cf tableau IX). (S. E. Hrudey, 2008)

**Tableau IX** : Les différents THM. [13]

Formule brute	Nom IUPAC	Numéro CAS	Nom usuel	Autre(s) nom(s)	Molécule
$\text{CHF}_3$	trifluorométhane	75-91-7	fluoroforme	Freon 23, R-23, HFC-23	
$\text{CHClF}_2$	chlorodifluorométhane	75-35-6	-	R-22, HCFC-22	
$\text{CHCl}_2$	trichlorométhane	67-66-3	chloroforme	Trichlorure de méthyle	
$\text{CHBrCl}_2$	bromodichlorométhane	75-27-4	dichlorobromométhane	-	
$\text{CHBr}_2\text{Cl}$	bromochlorobromométhane	75-44-0	chlorobromométhane	-	
$\text{CHBr}_3$	tribromométhane	75-25-2	bromoforme	Tribromure de méthyle	
$\text{CHI}_3$	triiodométhane	75-11-8	iodoforme	Triiodure de méthyle	

### ➤ Le chloroforme ( $\text{CHCl}_3$ )

Le chloroforme ou trichlorométhane est un composé chimique organochloré de formule brute :  $\text{CHCl}_3$  (voir tableau X). Il a été découvert simultanément par Eugène Soubeiran (en France), Justus von Liebig (en Allemagne) et Samuel Guthrie (en Amérique) pour la première fois en 1831. Le chloroforme a été jadis utilisé comme anesthésique dans les blocs opératoires et comme conservateur pour la viande. [14]

Le chloroforme est généralement le principal THM mesuré dans l'eau potable (jusqu'à 90% en poids de tous les THM), mais sa proportion par rapport à l'ensemble des THM peut varier de façon significative selon la teneur de l'eau brute en bromure (qui peut entraîner alors une formation de sous-produits bromés) et selon le pH de l'eau (*J.-C. Belles-Isles et al, Décembre 2002*).

**Tableau X** : Caractéristiques du chloroforme (*J.-M. BRIGNON et al, 29 Mars 2006*)

Substance chimique	N. CAS	N. EINECS	Synonymes	Forme physique (*)
Chloroforme $\text{CHCl}_3$  $\begin{array}{c} \text{Cl} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{Cl} \\   \\ \text{Cl} \end{array}$	67-66-3	200-663-8	Trichlorométhane	Liquide volatil, limpide et incolore qui dégage une odeur éthérée.

### ➤ Bromodichlorométhane

La concentration maximale acceptable (CMA) pour le bromodichlorométhane (BDCM) dans l'eau potable est de 0,016 mg/l (16 µg/l) au point du réseau de distribution susceptible de présenter les plus hautes concentrations de THM. (*Santé Canada, mai 2006*)

### III-1-1-2-Les acides haloacétiques (AHA)

Les AHA appartiennent à la famille des acides carboxyliques aliphatiques halogénés. (*Santé Canada, Juillet 2008*). Ils sont composés de trois atomes d'hydrogène qui sont fixés à un groupe COOH. Les atomes H de l'acide acétique sont partiellement remplacés par des atomes d'halogènes. Les HAA sont des composés non volatils et hydrophiles. Ils peuvent se trouver dans l'eau dans des concentrations plus élevées que les THM, en fonction de la valeur du pH de l'eau : quand le pH est faible, plus de HAA sont formés et, dans le cas d'un pH élevé, plus de THM sont formés. [15]

Il y a neuf AHA courants : MCA, DCA, TCA, MBA, DBA, (qui constituent le groupe des AHA5, les plus fréquents dans l'eau potable), acide bromochloroacétique, acide bromodichloroacétique, acide chlorodibromoacétique et acide tribromoacétique. (*Santé Canada, Juillet 2008*)

#### ➤ Le MCA :

C'est une solution incolore ou un cristal blanc qui a une odeur de vinaigre. Il sert principalement d'intermédiaire chimique dans la production d'éthers de cellulose (surtout de carboxyméthylcellulose), d'acide thioglycolique et d'herbicide.

Il est aussi utilisé dans la fabrication de glycine, d'acide phénoxyacétique, de sarcosine, de surfactants amphotères, de caféine synthétique, de divers colorants indigo, de produits pharmaceutiques, d'agents de conservation (acide éthylènediaminetétraacétique) et d'agents bactériostatiques. (*Santé Canada, Juillet 2008*)

#### ➤ Le DCA :

C'est un liquide dont la couleur varie d'incolore à légèrement jaune et qui a une odeur piquante. On l'utilise comme astringent topique, fongicide et désinfectant médicinal, comme réactif d'essai dans des mesures analytiques, et comme agent dans le traitement de l'acidose lactique et la synthèse de matières organiques, y compris de produits pharmaceutiques. (*Santé Canada, Juillet 2008*)

**Tableau XI :** Propriétés physicochimiques des AHA5. (Santé Canada, Juillet 2008)

Propriété	MCA	DCA	TCA	MBA	DBA
N° CAS	79-11-8	79-13-6	76-03-9	79-08-3	631-64-1
Formule	$\text{ClCH}_2\text{COOH}$	$\text{Cl}_2\text{CHCOOH}$	$\text{Cl}_3\text{CCOOH}$	$\text{BrCH}_2\text{COOH}$	$\text{Br}_2\text{CHCOOH}$
Poids moléculaire	94,5	128,942	163,387	138,948	217,844
Point d'ébullition (°C)	189,1 <sup>1)</sup>	193-194 <sup>0)</sup>	196-197 <sup>2)</sup>	208 <sup>3)</sup>	195 <sup>3)</sup>
Point de fusion (°C)	63 <sup>1)</sup>	13,5 <sup>2)</sup>	57-58 <sup>1)</sup>	50 <sup>2)</sup>	49 <sup>2)</sup>
Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )	1,40 à 25°C <sup>3)</sup>	1,56 à 20°C <sup>1)</sup>	1,62 à 25°C <sup>4)</sup>	1,93 <sup>2)</sup>	n.d. <sup>5)</sup>
Pression de vapeur (mmHg) <sup>6)</sup>	0,065 à 25°C <sup>3)</sup>	0,179 à 25°C <sup>1)</sup>	0,16 à 25°C <sup>2)</sup>	0,549 à 25°C <sup>3)</sup>	n.d. <sup>5)</sup>
Constante de dissociation (pK <sub>a</sub> ) à 25°C	2,87 <sup>7)</sup>	1,26 <sup>7)</sup>	0,66 <sup>2)</sup>	2,69 <sup>8)</sup>	n.d. <sup>5)</sup>
Solubilité dans l'eau (g/mL)	1,09 à 25°C <sup>10)</sup>	Miscible <sup>11)</sup>	1,50 à 25°C <sup>10)</sup>	1,75 à 25°C <sup>11)</sup>	2,11 à 25°C <sup>10)</sup>
Coefficient de partage octanol/eau	0,22 <sup>12)</sup>	0,92 <sup>13)</sup>	1,33 <sup>14)</sup>	0,41 <sup>15)</sup>	1,22 <sup>13)</sup>

Les références sont les suivantes : 1) Budavari et coll., 1996; 2) Lide, 2003-2004; 3) Morris et Bost, 2002; 4) Doolen et Dunner, 1989; 5) West, 1973; 6) Chemdata Fine Chemicals, 2002; 7) Serjeant et Dempsey, 1979; 8) Maruthamuthu et Huis, 1995; 9) ZéChrom Separations Inc sans date; 10) Nikolaou et coll., 1999; 11) Hansch et coll., 1995; 12) Schültz et coll., 1999.

1 mmHg = 133,3 Pa.

n.d. : non disponible.

### III-1-1-3-Les haloacétonitriles (HAN), les halo-aldéhydes et les haloacétones :

Généralement présents en plus faible quantité que les THM et HAA, ces composés sont souvent formés immédiatement lors de la désinfection de l'eau, mais se décomposent très vite lors des réactions d'hydrolyse ou de réactions avec des désinfectants résiduels. Ils peuvent aussi être des produits de réactions d'autres SPD, tels que les THM et les HAA et lorsque les valeurs de pH sont élevées, ils ne peuvent être formés.

Les haloacétonitriles sont formés lors de la réaction du chlore et d'acétronitrile. Quand le temps de réaction du désinfectant dans l'eau est faible, ces sous-produits de désinfection sont décomposés.

Les composés d'acétaldéhyde trichlorés et les aldéhydes bromés sont les seconds plus grands groupes de SPD. L'acétaldéhyde mono et dichlorée peuvent être formés lors de la désinfection, mais seront immédiatement oxydés pour former des acétaldéhydes trichlorés. L'acétaldéhyde est un sous-produit de désinfection par ozone. Quand l'ozone est combiné au chlore, il y a formation de trihaloacétaldéhydes. [15]

### III-1-1-4-Le MX:

En 1986, un nouveau sous-produit de désinfection fut découvert: le 3-chloro-4-(dichlorométhyl)-5-hydroxy-2(5H) furanone, ou le MX. Le MX est souvent présent dans l'eau et à cause de son activité et des risques sur la santé, l'OMS l'a placé sur la liste des substances potentiellement dangereuses pour la santé.

Les autres sous-produits de désinfection souvent formés lors de la chloration de l'eau, sont les halonitrométhane, les halophénols et les halofurans. [15]

#### III-1-1-5-Le chlorite :

Le chlorite ( $\text{ClO}_2^-$ ) est un sous-produit de désinfection par le dioxyde de chlore. Quand le dioxyde de chlore est décomposé, le chlorite est formé:



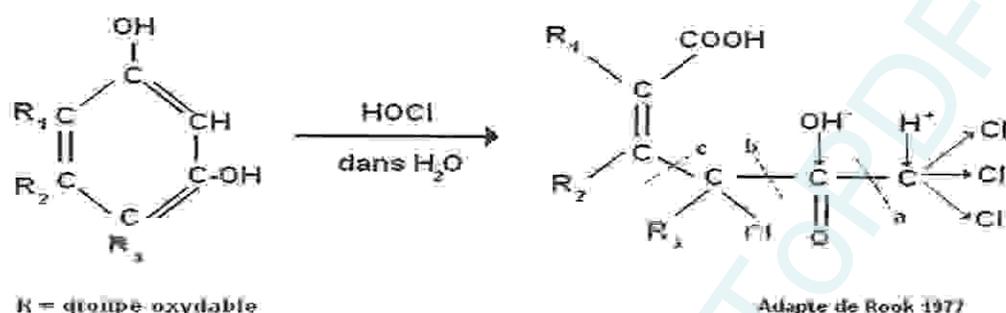
De nombreuses réactions complexes masquent la formation de chlorite lors de la dissolution du dioxyde de chlore. Le chlorite est suspecter de causer l'anémie chez les jeunes enfants et peut affecter le système nerveux. [15]

#### III-1-1-6-1 l'hydrat de chloral (HC)

Il s'agit du 2, 2, 2-trichloro-1,1-éthanediol de poids moléculaire 165,4 g/mol, il a une apparence cristalline, une odeur aromatique légèrement âcre et un goût légèrement amer. Il est synthétisé par chloration de l'éthanol.

Ce SPD est utilisé comme sédatif en médecine humaine et vétérinaire. Il entre dans la fabrication de divers produits chimiques, à l'instar des produits pharmaceutiques et des pesticides. Il peut être présent dans l'eau potable comme sous-produit du traitement de l'eau potable ou s'il est rejeté dans l'environnement à la suite de ces utilisations. Toutefois, les concentrations habituellement mesurées dans l'eau potable sont bien inférieures à celles qui ont des effets observables sur la santé. (*Santé Canada, Août 2008*)

substances humiques et avec la partie résorcinol des acides fulviques. Lorsque les noyaux aromatiques ont été halogénés, les molécules se dissocient pour donner les différents SPC. (F. VAILLANCOURT, Avril 2006)



**Figure 12** Modèle de réaction du chlore avec les noyaux aromatiques (F. VAILLANCOURT, AVRIL 2006)

Une séparation au point (a) donnera du chloroforme. La séparation au point (b) entraînera la formation d'acide trichloracétique ( $\text{Cl}_3\text{CCOOH}$ ) ou d'hydrate de chlore ( $\text{Cl}_3\text{CCH}(\text{OH})_2$ ). Finalement la séparation au point (c) donnera l'un des halocétone (cf fig 12) (F. VAILLANCOURT, AVRIL 2006)

### III-1-2-2-Les précurseurs des SPD :

La formation des SPD est influencée par plusieurs composés ou précurseurs se trouvant dans l'eau brute devant être traitée.

#### ➤ Les Matières organiques naturelles (MON) :

La nature et la caractérisation chimique de la MON varie selon la provenance de l'eau. Ainsi donc nous retrouvons deux sortes de MON : la matière hydrophobe (acides humiques et fulviques) et la matière hydrophile (protéines, carbohydrates et acides aminés). Ce sont les acides humiques qui sont le plus susceptible de former des SPD car ils sont détenteurs de plus de noyaux aromatiques que les acides fulviques. (F. VAILLANCOURT, AVRIL 2006)

➤ **Le carbone organique total (COT):**

Il fournit des indications sur la quantité de MON présente et disponible pour la réaction. Les teneurs de THM-AHA et la formation des aldéhydes tendent également à croître dans les eaux riches en COT. (S. E. Hrudey, 2008)

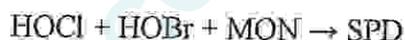
➤ **L'absorbance du rayonnement ultraviolet (UV-254) :**

Il indique la réactivité de la MON, soit, sa tendance à former des SPD. Dans les eaux aux valeurs d'UV-254 élevées, les teneurs de THM-AHA et la formation des aldéhydes tendent aussi à croître. (S. E. Hrudey, 2008)

➤ **Les ions bromures :**

La présence d'ions bromure favorise davantage les produits bromés de THM et d'AHA que les produits chlorés. Dans les solutions d'hypochlorite, la présence de bromure stimule la synthèse de bromate toxique, plutôt que de chlorite ou de chlorate. (S. E. Hrudey, 2008) Les bromures sont oxydés par l'acide hypochloreux (HOCl) pour former l'acide hypobromeux (HOBr), lequel réagit ensuite en combinaison avec l'acide hypochloreux pour former des sous-produits bromés.

L'acide hypobromeux réagit plus facilement avec la MON que l'acide hypochloreux puisqu'il est un agent de substitution halogène plus efficace. Les chercheurs ont observés par des tests de potentiel de formation des THM, qu'en général moins de 10% du HOCl était incorporé dans les THM chlorés alors que pour le HOBr, ce pourcentage s'élevait à près de 50% dans les THM bromés.



➤ **La température :**

Comme pour la plupart des réactions chimiques, la température influence la formation des SPD. Dans le cas de la formation de THM, une température plus élevée favorise la vitesse de réaction entre le chlore résiduel et la MON. C'est pour cette raison qu'en été, les concentrations de THM dans l'eau des réseaux de distribution sont plus élevées qu'en autres saisons. [16]

En règle générale, la formation de SPD croît avec la température (par exemple, les concentrations augmentent de 15 à 25 % lorsque la température passe de 10 à 30 °C). (S. E. Hrudey, 2008)

➤ **Le pH :**

Il conditionne les caractéristiques des réactions chimiques responsables de la formation des SPD. Il peut être considéré comme un paramètre opérationnel puisqu'il est possible d'ajuster sa valeur avant la désinfection. La réaction responsable de la formation des THM se fait en deux étapes: d'une part, la cinétique de la première étape est favorisée par la présence de la forme non ionisée de l'acide hypochloreux (HOCl) à pH acide; d'autre part, la deuxième étape est une hydrolyse catalytique en milieu basique favorisée lorsque le pH de l'eau est plus élevé. (F. VAILLANCOURT, AVRIL 2006)

La montée du pH (jusqu'au niveau de 9,5) favorise la synthèse de THM, mais atténue la formation de TCA et de TOX. Les concentrations de DCA atteignent leur maximum lorsque le pH se situe entre 7 et 7,5. Les SPD comme le DCAN et la trichloroacétone culminent à des pH inférieurs. Les aldéhydes, surtout issus de réactions avec l'ozone moléculaire, se raréfient quand le pH augmente : leurs concentrations baissent de 25 % à des pH compris entre 7 et 8,5. (S.E.Hrudey, 2008)

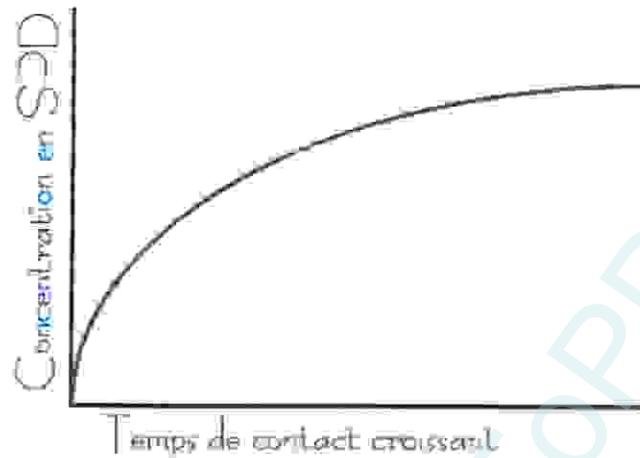
➤ **Le temps de contact :**

Le temps de contact entre le désinfectant et la MON est un paramètre fondamental de la formation des SPD. Il correspond au temps de séjour de l'eau traitée dans le réseau de distribution. Plus ce temps est élevé, plus la concentration en SPD sera importante. (F. VAILLANCOURT, AVRIL 2006)

En effet, comme la réaction du chlore avec les précurseurs des THM continue de se produire après le traitement et jusqu'à ce qu'il ne reste plus de chlore résiduel libre dans le réseau de distribution, il se formera davantage de THM si le temps de séjour de l'eau est plus important.

Cependant, la formation des THM en fonction du temps n'est pas linéaire car une quantité importante de THM se forme à l'usine de traitement, en début de réseau et la réaction devient de moins en moins active avec le temps. [17]

La concentration en SPD peut donc devenir considérable dans les extrémités des réseaux de distribution d'eau potable où le temps de contact excède parfois 24 heures.(cf fig 13) [18]



**Figure 13:** Concentration des SPD en fonction du temps. [18]

➤ **Dose du désinfectant :**

La dose de désinfectant appliquée à l'eau durant le traitement affecte directement la formation des SPD. En plus de favoriser leur formation, la dose de désinfectant affecte la spéciation des SPD et leur importance relative. Par exemple, une dose plus élevée de chlore favoriserait la formation d'AHA au lieu des THM. De même, une dose de chlore plus importante favorise la formation de sous-produits chlorés par rapport aux sous-produits bromés autant pour les THM que les AHA. [19]

**III-1-3-Normes des SPD**

Le tableau ci-après reporte ces différentes normes en fonction de diverses sources et des années

**Tableau XIII :** Limites imposées et recommandées pour les SPD par chloration. (Steve E.Hrudey, 2008)

Source	Sous-produits de désinfection par chloration	Valeur de référence (µg/L)	Année d'établissement ou de révision
Australie	THM4 (valeur maximale)	250	1996, 2004
	Acide monochloroacétique	150	2004
	Acide dichloroacétique	100	2004
	Acide trichloroacétique	100	2004
	Chlorure de cyanogène	80	2004
	Hydrate de chloral (trichloroacétaldéhyde)	20	2004
Canada – CMA	THM4 (valeur maximale)	550	1978
	THM4 (moyenne annuelle mobile)	100	1996, 2006
	Bromodichlorométhane (BDCM) <sup>2</sup>	16	2006
	AHA5 (valeur maximale)	80	2008
E.-U. – CMC	THM4 (moyenne annuelle mobile)	100	1979
	THM4 (moyenne annuelle mobile)	80	1998
	AHA5 (moyenne annuelle)	60	1998
OMS	Chloroforme	30	1984
	Chloroforme	200	1993, 2004
	Bromodichlorométhane (BDCM)	60	2004
	Chlorodibromométhane	100	2004
	Bromoforme	100	2004
	Hydrate de chloral	10	2004
	Chlorure de cyanogène	70	2004
	Dibromoacétonitrile	70	2004
	Acide dichloroacétique	50	2004
	Dichloroacétonitrile	20	2004
	Acide monochloroacétique	20	2004
	Acide trichloroacétique	200	2004

<sup>2</sup> Subit un examen en raison de nouvelles données indiquant que le BDCM n'est pas cancérigène

### III-1-4 Les risques sanitaires des SPD :

#### III-1-4-1-L'absorption

##### ➤ Les AHA5

###### • Acide monochloroacétique

L'application des solutions tamponnées de MCA à pH 7 sur la peau humaine au moyen de chambres de diffusion *in vitro*, n'a pas démontré d'absorption importante par voie cutanée. Il semblerait que l'ionisation constitue peut-être le principal facteur limitant la perméabilité des AHA car, le MCA administré par voie orale à des rats ou des souris était absorbé rapidement et de façon importante. (Santé canada, Juillet 2008)

###### • Acide dichloroacétique

Le DCA est aussi absorbé facilement dans le sang à partir du tractus gastro-intestinal à la suite d'une exposition par voie orale, tant chez les rats que chez les humains. L'absorption cutanée chez les humains est mineure tant *in vivo* qu'*in vitro* (lorsqu'on utilise des chambres de diffusion et une solution tamponnée de DCA). (Santé canada, Juillet 2008)

- **Acide trichloroacétique**

Le TCA est facilement absorbé à partir du tractus gastro-intestinal après une exposition par voie orale, tant chez les rats que chez les humains. Chez les rats, la concentration sanguine de TCA à la suite d'une ingestion orale a atteint son maximum environ deux heures après l'administration de la dose. Aucun signe d'absorption importante de TCA par voie cutanée n'a été relevé chez les humains, que ce soit *in vivo* ou lorsqu'on utilise des chambres de diffusion *in vitro*. (Santé canada, Juillet 2008)

- **Acide monobromoacétique**

Des études sur l'exposition orale aiguë ont montré que le MBA était absorbé et avait des effets indésirables. (Santé canada, Juillet 2008)

- **Acide dibromoacétique**

Le DBA est absorbé rapidement dans le sang à partir du tractus gastro-intestinal à la suite d'une exposition par voie orale chez les rats. Sa concentration dans le sang atteint son maximum environ une heure après l'administration de la dose.

Rien n'indique qu'il y ait une absorption importante du DBA par voie cutanée à un pH 7 lorsqu'on utilise des chambres de diffusion *in vitro*. Les auteurs ont déclaré que l'ionisation constituait peut-être le principal facteur limitant la perméabilité des AHA, y compris le DBA. (Santé canada, Juillet 2008)

➤ **THM :**

L'ingestion constitue une voie importante d'absorption des THM contenus dans l'eau du robinet. L'utilisation de l'eau à des fins domestiques, particulièrement lors de la prise de douches et de bains, contribue également à l'absorption des THM par inhalation et par contact cutané. Pour des concentrations de chloroforme dans l'eau inférieures à 50 µg/l, l'absorption par inhalation et contact cutané lors de la prise d'une douche de 10 minutes serait égale ou supérieure à l'absorption par ingestion d'un litre d'eau chlorée.

Cependant, même si les doses absorbées sont du même ordre, elles ne sont pas nécessairement équivalentes d'un point de vue toxicologique. En effet, les THM absorbés par ingestion sont en bonne partie métabolisés lors du premier passage au foie alors que ceux inhalés ou absorbés par voie cutanée se retrouvent directement dans la circulation sanguine. (J-C Belles-Isle et al, 2002)

Les êtres humains et les animaux absorbent facilement le chloroforme par la peau et il fut démontré que l'absorption cutanée de chloroforme provenant de l'eau de la douche était

importante. L'hydratation de la peau semble accélérer l'absorption du chloroforme. (*Santé canada, mai 2006*)

### **III-1-4-2-Metabolisme**

#### ➤ Les AHA

##### • Acide monochloroacétique

La dissociation du MCA dans des systèmes biologiques se fait comme suit:

- Formation de S-carboxyméthyl-glutathion et, par la suite, de S-carboxyméthyl-cystéine, métabolisée à son tour en acide thiodiacétique (voie principale);
- Formation d'acide glycolique à la suite de l'hydrolyse de la liaison C-Cl, oxydation subséquente qui entraîne la formation d'acide oxalique et de dioxyde de carbone.

Il existe également d'autres voies métaboliques comme la déshalogénéation qui mène à la formation d'oxalate et de glycine ou la déshalogénéation et la réduction en acide thiodiacétique par la conjugaison avec le glutathion. (*Santé canada, Juillet 2008*)

##### • Acide dichloroacétique

La déchloration oxydative qui forme du glyoxylate constitue la principale voie métabolique du DCA. Une partie du DCA est aussi convertie en dioxyde de carbone et éliminée par l'air exhalé.

Le DCA peut également être métabolisé par déchloration réductrice pour former du MCA et, par la suite, du thiodiacétate.

L'enzyme qui catalyse au départ l'oxygénation du DCA dépendante du glutathion est la glutathion S-transférase-zêta (GST-zêta), que l'on trouve principalement dans le cytosol.

Le métabolisme du DCA présente des différences appréciables entre les espèces. Néanmoins de nombreuses questions demeurent encore sans réponse en ce qui concerne le métabolisme du DCA; on ignore notamment s'il joue un rôle dans la toxicité chez les animaux de laboratoire et les humains et s'il existe plus d'une voie métabolique. (*Santé canada, Juillet 2008*)

##### • Acide trichloroacétique :

Le foie métabolise une proportion relativement faible du TCA. On a observé la formation de dioxyde de carbone, d'acide glyoxylique, d'acide oxalique, d'acide glycolique et de DCA chez les rats et les souris à la suite de l'administration par voie orale de TCA (neutralisé)

radiomarqué. Le TCA serait, semble-t-il, métabolisé par déshalogénéation réductrice en DCA. (*Santé canada, Juillet 2008*)

- **Acide dibromoacétique**

Une étude sur le métabolisme *in vitro* réalisée par Tong a démontré que l'enzyme GST-zéta catalysait l'oxygénation du DBA en acide glyoxylique, voie qui est semblable à celle du DCA. L'OMS a signalé que l'acide glyoxylique pouvait être métabolisé en glycine, glycolate, dioxyde de carbone ou acide oxalique. (*Santé canada, Juillet 2008*)

- **THM**

Les THM ingérés sont absorbés au niveau gastro-intestinal. À cause de sa grande volatilité, le chloroforme peut également être absorbé par les poumons. Une fois absorbées, les concentrations de THM les plus importantes se retrouvent dans les tissus adipeux, le foie et les reins. Une partie des THM absorbés est exhalée sous forme inchangée. Le reste est oxydé en composés dihalocarboxyliques très réactifs (exemple : phosgènes, chlorobromocarboxyles) puis hydrolysé en dioxyde ou monoxyde de carbone avant d'être expiré. Les données suggèrent que ces composés dihalocarboxyliques seraient responsables des effets toxiques des THM. (*J-C Belles-Isles et al 2002*)

- **L'hydrate de chloral**

Il existe des données limitées sur le métabolisme de HC. Ses deux principaux métabolites sont le trichloroéthanol et le trichloroacétique.

Le trichloroéthanol subit une glucuronication rapide puis passe dans le circuit entéro-hépatique où il est hydrolysé et enfin oxydé en TCA. La chloration du trichloroéthanol conduirait à la formation de DCA, ce dernier pourrait être ensuite transformé en MCA. (*Khallef M, 2004*)

- **Les acétonitriles halogénés**

Les HAN sont facilement absorbés par la voie gastro-intestinale et rapidement métabolisés en composés monocarbonés, notamment en cyanure, formaldéhyde, ainsi que les halogénures de formyl. (*Khallef M, 2004*)

➤ **MX**

Le MX radiomarqué  $^{14}\text{C}$  est rapidement absorbé au niveau des voies digestives et passe dans la circulation générale. La plus grande partie de la radioactivité est excrétée dans les urines au bout de 24 à 48 heures et les matières fécales. Au bout de 5 jours il ne reste dans l'organisme qu'une proportion minime initiale de radiomarqueur initial. (*Khallef M. 2004*)

**III-1-4-3-Effets sur la santé :**

➤ **Les AHA :**

➤ **Effets chez l'homme :**

• **Acide monochloroacétique**

Dans un cas fatal, une fillette de cinq ans a ingéré une cuillerée à thé (5 à 6 ml) d'une solution pour l'élimination des verrues constituée de MCA (acide) à 80 %. Elle a commencé à vomir, s'est évanouie et est morte huit heures plus tard. On a attribué la cause de la mort à une acidose métabolique et à une arythmie cardiaque. L'autopsie a révélé que le foie était endommagé et que l'estomac présentait des signes d'irritation marqués. (*Santé canada, Ottawa (Ontario) Juillet 2008*)

• **Acide dichloroacétique**

Une neuropathie périphérique (perte de réflexe et faiblesse musculaire) et, dans un cas, une hépatomégalie (foie hypertrophié) sont apparues chez des patients chez lesquels on avait diagnostiqué des troubles génétiques, comme une hypercholestérolémie familiale (trouble commun du métabolisme des lipides associé à un risque élevé de mortalité précoce attribuable à une cardiopathie ischémique) ou divers troubles mitochondriaux, et qui ont suivi de ce fait un traitement quotidien au DCA (sel de sodium) pendant plus de quatre mois.

Un œdème pulmonaire peut se développer chez des personnes exposées en milieu professionnel à un brouillard ou une vapeur concentrés de DCA, plusieurs heures après l'exposition. (*Santé canada, Juillet 2008*)

• **Acide trichloroacétique**

Il a été constaté qu'en milieu professionnel, des solutions ou brouillards concentrés de TCA (acide) entraînaient des effets sur la peau (rougeur, enflure, douleur et éventuellement brûlure) et les yeux (irritation sévère ou lésion corrosive) ou causaient des lésions gastro-intestinales attribuables à une ingestion accidentelle et que la gravité de la lésion (cutanée, orale, oculaire) augmente en fonction de la concentration d'acide et de la durée de l'exposition.

Le TCA n'a pas provoqué d'aberrations chromosomiques dans les lymphocytes humains. (Santé Canada, Juillet 2008)

#### • Acide monobromoacétique

Aucune étude révélant des effets sur la santé humaine causés par une exposition au MBA n'a été retracée. (Santé Canada, Juillet 2008)

#### ➤ Effets chez les animaux de laboratoire et sur les systèmes d'essai *in vitro*

Les tableaux ci-dessous présentent des détails concernant les études disponibles sur la toxicité aiguë de certains AHA absorbés par voie orale et cutanée.

**Tableau XIV:** Tableau récapitulatif de données sur la toxicité aiguë de divers composés AHA absorbés par voie orale. (Santé CANADA, juillet 2008)

Composé	DL <sub>50</sub> orale (mg/kg p.c.) <sup>a</sup>				Observations cliniques
	Rats	Souris	Lapins	Cobayes	
MCA, acide	90,4 pour une solution à 1 % <sup>(1)</sup> , env. 200 pour une solution à 5 % <sup>(2)</sup>	260 <sup>(3)</sup>	n.d. <sup>b</sup>	n.d.	Apathie, hypoactivité, troubles de l'équilibre, larmoiement, dyspnée, cyanose <sup>(1)</sup>
MCA, sel	76 <sup>(1)</sup>	165-285 <sup>(3), (4)</sup>	n.d.	50 <sup>(5)</sup>	Apathie, perte de poids <sup>(1)</sup>
DCA, sel	4480 <sup>(2)</sup>	4845-5500 <sup>(3), (4)</sup>	n.d.	n.d.	Semi-narcose, narcose <sup>(1)</sup>
TCA, acide	400 <sup>(2)</sup>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TCA, sel	3320-5000 <sup>(3), (7)</sup>	3640-4870 <sup>(3), (7), (8)</sup>	4000 <sup>(9)</sup>	n.d.	Semi-narcose, narcose <sup>(3)</sup>
MBA, sel	177 <sup>(4)</sup>	n.d.	n.d.	n.d.	Consommation excessive d'eau, hypomobilité, respiration difficile, diarrhée légère <sup>(5)</sup>
DBA, sel	173 <sup>(7)</sup>	n.d.	n.d.	n.d.	Consommation excessive d'eau, hypomobilité, respiration difficile, diarrhée légère <sup>(7)</sup>

n.d. = non disponible

**Tableau XV :** Tableau récapitulatif des données sur la toxicité aiguë des divers composés AHA absorbés par voie cutanée. (Santé CANADA, juillet 2008)

Composé	DL <sub>50</sub> cutanée (mg/kg p.c.) <sup>a</sup>		Observations cliniques
	Rats	Lapins	
MCA, acide	>400 (solution à 5 %) <sup>1)</sup> 305-800 (solution à 40-50 %) <sup>1)</sup> 145 (acide) <sup>2)</sup>	250 (solution à 50 %) <sup>3)</sup>	Apathie, hypoactivité, larmolement horripilation, halètement, position couchée sur le ventre <sup>1)</sup>
MCA, sel	>2000 (aucun décès) <sup>3)</sup>	n.d. <sup>3)</sup>	Activité réduite, accroupissement, démarche gauchée et titubante, respiration irrégulière, râles humides, diarrhée <sup>4)</sup>
TCA, sel	>2000 <sup>3), 4)</sup>	n.d.	

<sup>a</sup> Références : 1) ECETOC, 1999; 2) Saghir et Rozman, 2003; 3) Tomlin, 1994; 4) Hoechst AG, 1974  
<sup>b</sup> n.d. = non disponible.

#### ➤ Les THM :

La toxicité aiguë des THM chez l'animal se caractérise par une dépression du système nerveux central et par des manifestations cardiaques. Le foie et les reins peuvent également être atteints. Les concentrations mesurées dans l'eau potable sont toutefois beaucoup trop faibles pour provoquer de tels effets chez l'humain

#### III-1-4-4-Effets cancérogènes des SPC

Diverses études ont été faites pour acquérir des connaissances sur les risques cancérogènes, mutagènes ou génotoxiques des SPD. Les informations ci-dessous concernent : la classification par l'IARC et l'US EPA, la nature des études ayant généré les connaissances disponibles (animales ou humaines), les localisations cancéreuses, la ou les voies d'exposition conduisant à la survenue de cancers et le mécanisme d'action de la substance. [20]

#### ➤ THM

##### ❖ Chloroforme

- C'est la substance la plus étudiée. Classée cancérogène possible (2B) selon l'IARC et cancérogène probable (B2) par l'US EPA ; à des degrés différents, ces deux organismes considèrent que les preuves sont insuffisantes chez l'homme à ce jour, mais probantes chez l'animal ;
- Les voies d'exposition conduisant à la survenue de tumeurs cancéreuses sont l'ingestion et l'inhalation. Aucune description n'a été publiée sur l'implication de la voie cutanée ;

- Chez l'animal, les cancers les plus fréquemment décrits sont ceux du foie et du rein après une exposition chronique par gavage des animaux ;
- Chez l'homme, seul l'étude de Lawrence ne tient compte que de l'exposition au chloroforme (et pas aux autres SPC) ; elle n'a pas pu mettre en évidence de lien avec le cancer colorectal.
- Il agirait, soit par un mécanisme génotoxique seulement après une exposition massive, soit après une altération cellulaire qui conduirait à une prolifération cellulaire. Des controverses subsistent. [20]

#### ❖ Bromodichlorométhane

- Classification (2B) de l'IARC et (B2) pour l'US EPA fondée sur des données suffisantes chez l'animal mais pas chez l'homme ;
- Les voies d'exposition étudiées sont la voie orale (gavage par huile de maïs chez les rats et ingestion d'eau potable) et la voie intrapéritonéale ;
- Chez l'animal, les cancers rapportés sont ceux : du colon chez la souris et le rat après gavage, du rein et du foie chez la souris. Lorsque le vecteur de contamination est l'eau, aucune augmentation des tumeurs hépatiques n'est observée ;
- Chez l'homme, aucune étude épidémiologique n'est disponible ;
- Le mécanisme d'action n'est pas encore élucidé. [20]

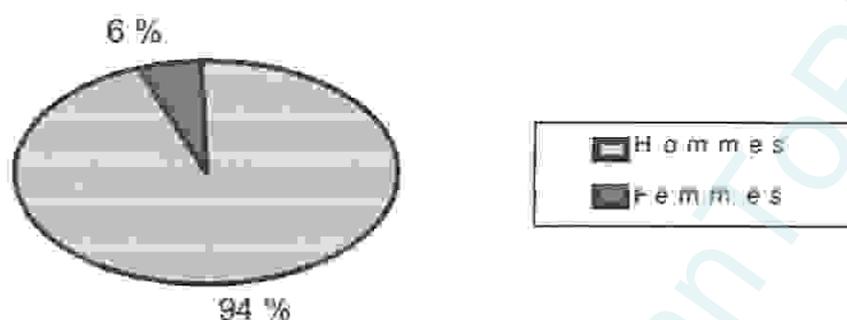
#### ❖ Dibromochlorométhane

- Classification 3 (inclassable) de l'IARC et C pour l'US EPA (cancérogène possible pour l'homme) ;
- La voie d'exposition étudiée chez l'animal est l'ingestion parfois par gavage ;
- Chez l'animal, ce composé ne semble pas être associé à la survenue de cancers chez le rat ; il provoque des cancers du foie chez la souris femelle dans des études de gavage ;
- Chez l'homme, il n'y a pas de données épidémiologiques spécifiques à ce composé ;
- Le mécanisme d'action n'est pas encore bien connu. [20]

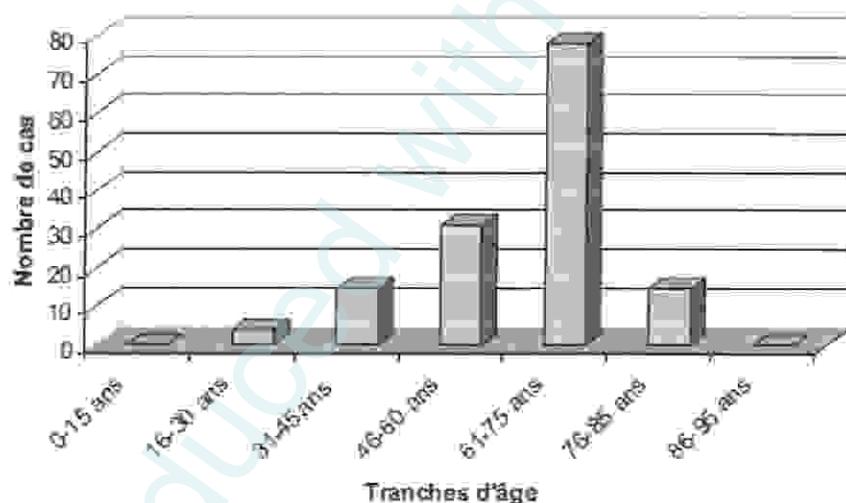
#### ❖ Bromoforme

- Classification 3 (inclassable) de l'IARC et B2 pour l'US EPA (cancérogène probable pour l'homme), fondée sur des données inadéquates pour l'homme mais probantes chez l'animal ;
- Les voies d'exposition étudiées sont la voie orale et péritonéale ;
- Chez l'animal, il cause le cancer du colon chez les rats femelles ;
- Chez l'homme, il n'existe pas de données épidémiologiques spécifiques concernant le bromoforme ;
- Le mécanisme d'action n'est pas encore bien connu. [20]

**Remarque :** Des études menées à Mostaganem sur les THM de l'eau de robinet pendant une période de 15 ans ; ont montré que les hommes sont plus exposés au cancer de la vessie que les femmes. Cette maladie est inégalement répartie selon l'âge. (B. El-Attafia et al, 30 juin 2009)



**Figure 14 :** Répartition du nombre des cas de cancer de la vessie selon le sexe. (B. El-Attafia et al, 30 juin 2009)



**Figure 15 :** Répartition du nombre de cas de cancer de la vessie selon les tranches d'âge. (B. El-Attafia et al, 30 juin 2009)

### ➤ Acides haloacétiques

#### ❖ Dichloroacétate

- Classification 3 (inclassable) de l'IARC et B2 pour l'US EPA (cancérogène probable) ;
- La voie d'exposition étudiée chez l'animal est la voie orale (gavage et ingestion d'eau) ;

- Chez l'animal, il induit des tumeurs du foie chez le rat et la souris. Une étude récente a montré un nombre accru d'hépatocarcinomes chez les souris avec de l'eau contenant du dichloroacétate pendant 90 à 100 semaines à des doses de 168 mg/kg/j ;
- Chez l'homme, il n'y a pas de données épidémiologiques spécifiques à ce composé ;
- Le mode d'action cancérigène serait une modification des voies de signalisation intracellulaires. [20]

#### ❖ Trichloroacétate

- Classification 3 (inclassable) de l'IARC et C pour l'US EPA (cancérigène possible) ;
- La voie d'exposition étudiée chez l'animal est la voie orale (gavage et par ingestion d'eau de boisson) ;
- Chez l'animal, il provoque le cancer du foie chez la souris mais pas chez le rat ;
- Chez l'homme, il n'y a pas de données épidémiologiques spécifiques à ce composé ;
- La cancérigénicité pourrait être due à une prolifération des peroxyosomes hépatiques. [20]

#### ❖ Bromochloroacétate

- Ni l'IARC, ni l'EPA ne l'ont classé ;
- La voie d'exposition étudiée chez l'animal est la voie orale (ingestion d'eau de boisson) ;
- Chez l'animal, les localisations cancéreuses se situent au niveau du foie et du rein ;
- Il n'y a pas de données en population humaine ;
- Ce composé est mutagénique pour *Salmonella typhimurium* et induit des dégâts oxydatifs sur l'ADN dans le foie des souris ayant ingéré de l'eau traitée. [20]

#### ❖ Dibromoacétate

- Ni l'IARC, ni l'EPA ne l'ont classé ;
- La voie d'exposition étudiée chez l'animal est la voie orale (ingestion d'eau de boisson)
- Chez l'animal, il peut induire le cancer du colon chez le rat ;
- Il n'y a pas de données épidémiologiques spécifiques ;
- Cette substance est responsable de mutagénicité sur *Salmonella typhimurium* et entraîne des dégâts sur l'ADN mais aucun effet clastogénique sur les tests micronucleus. [20]

#### ❖ Bromodichloroacétate

Aucune donnée toxicologique n'est disponible pour ce composé dans les bases de données consultées. [20]

**➤ Les haloacétonitriles****❖ Dichloroacétonitrile**

- Classification 3 (inclassable) de l'IARC et C (cancérogène possible) pour l'US EPA ;
- Chez l'animal, pas d'études de cancérogenèse. Seuls des tests démontrant une mutagénicité ont été menés ;
- Il n'y a pas d'études en population humaine ;
- Il peut être mutagène et induire des échanges de chromatides sœurs dans les cellules des mammifères selon l'IARC. [20]

**❖ Bromochloroacétonitrile**

- Classification 3 (inclassable) de l'IARC et non renseigné par l'US EPA ;
- Chez l'animal, pas d'études de cancérogenèse. Seuls, des tests démontrant une faible mutagénicité sur salmonelles ont été menés ;
- Il n'y a pas d'études en population humaine ;
- Il peut être mutagène et induire des échanges de chromatides sœurs dans les cellules des mammifères selon l'IARC. [20]

**❖ Halohydroxyfuranones**

Le seul composé de cette famille sur lequel des données sont disponibles est le «3-chloro-4-dichlorométhyl-5-hydroxy-2-(5H)-furanone» ou MX.

- Classification 2B (cancérogène possible) par l'IARC, non renseigné pour l'US EPA ;
- Pas d'études animales de cancérogenèse ; une activité mutagène a été démontrée ; ce composé serait responsable d'une grande partie de la mutagénicité de l'eau de boisson ;
- Il n'y a pas de données humaines disponibles ;
- Ce composé peut induire des échanges de chromatides sœurs. [20]

**Tableau XVI:** Effets cancérogènes de quelques SPC chez l'animal. [20]

Substance	Voie d'exposition	Doses expérimentales	Effets	Références
<b>THM</b>				
Chloroforme (trichlorométhane)	orale		K (foie, rein, vésicule)	Bull (1982)
Bromodichlorométhane			K (foie et rein) (rat mâle et femelle), K (rein) (souris mâle) (rat jeunes femelle)	
	orale		K (foie) (souris)	IATP (1987)
Ollaromochlorométhane	orale		K (foie) (rat)	Dunnick (1987)
Bromofome	orale		K (foie) (souris) (femelle)	IATP (1987), Chimika (1985)
<b>HAAs</b>				
Acide dichloroacétique			K (foie) (rat, souris)	Davis (1992), Hren (1987), DeKogali (1994) (1991)
		(100mg/kg)	K (foie)	DeAngelo (1999)
Acide trichloroacétique			K (foie) (souris)	Bull (1990), Fukuro (1983)
Acide bromochloroacétique			mutagène (salmonelle)	Qiter (1997)
Acide bromochloroacétique			mutagène (salmonelle)	Morita (1997)
			K (foie) (souris)	Perrish (1983)
Halosuccinates				
Dichlorosuccinate			mutagène (salmonelle)	Bull (1985)
			effet sur ADN (lymphoblastes)	Davel (1980)
Bromochlorosuccinate				
Alcobromosuccinate			pas d'effet (rat)	Bull (1985)
			mutagène (salmonelle)	Moralmone (1985)

K : effet cancérogène

### III-1-4-5-Effets sur le développement et la reproduction

D'autres études ont permis l'acquisition de connaissances quant aux effets des SPD sur le développement au cours de la gestation. Les observations proviennent d'études animales et en population humaine, quel que soit le vecteur d'exposition.

Pour chacune des substances, les informations suivantes sont décrites, pour les effets sur le développement embryon-fœtal et la reproduction : une éventuelle classification par l'Union Européenne ; la nature des études ayant généré les connaissances disponibles (animales ou humaines) ; les effets observés ; la ou les voies d'exposition conduisant à la survenue de ces effets ; le mécanisme d'action de la substance. [20]

#### ➤ Effets sur le développement embryon-fœtal :

##### • Chloroforme

- Les résultats acquis chez l'animal sont présentés dans le tableau ci-dessous, qui rassemble les caractéristiques de chacune des études toxicologiques identifiées dans les revues et les

différents types de conséquences sur le développement du fœtus. Quelles que soient l'espèce animale et la voie d'exposition, l'atteinte plus ou moins grave du fœtus est avérée. La tératogénicité n'est cependant retrouvée que dans une seule étude, bien que tous les auteurs l'aient étudiée :

- Chez l'homme, en population générale, une seule étude épidémiologique étudie le chloroforme spécifiquement. Il s'agit de l'étude cas-témoins de Kramer, ajustée sur l'âge maternel, la parité, les soins prénataux, le niveau d'éducation et le tabac. Le risque de retard de croissance intra utérin était de 1,8 [IC95 % : 1,1 - 2,9] pour des concentrations de chloroforme supérieures à 10 µg/l. [20]

**Tableau XVII** : Effets sur le développement embryon-fœtal du chloroforme chez l'animal. [20]

	Schwartz (1974) [50]	Baerler (1968) [84]	Murray (1979) [51]	Dilley (1977) [85]	Rucklick (1983) [52]	Thompson (1974) [53]	Borzelleau (1982) [54]	Burkhalter (1979) [86]
Animal	Rat	Rat	Souris	Rat	Rat	Rat	Lapin	Souris
Voie d'exposition	Inhalation	Inhalation	Ingestion	Inhalation	Ingestion	Ingestion	Ingestion	Ingestion
Durée	10j	10j	7-10j	8j	10j	10-13j	10-13j	6j
Résorption fœtale	+							
Embryotoxicité	±	±	+	+	+			
Retard de développement	+	+	+	+	+	+	+	
Baisse survie néonatale								+
Tératogénicité	-	-	+	-	-	-	-	-
Dose ou concentration			0-100 ppm	0-20g/m <sup>3</sup>		0-50 mg/kg		0-31 mg/kg
NOAEL						50 mg/kg	855 mg/kg	
LOAEL	30 ppm	30 ppm			100 mg/kg			

+ association positive ; - pas d'association

#### • Bromodichlorométhane

- Le nombre d'études expérimentales animales recensées dans les revues est faible. Des associations positives ont été observées avec la résorption fœtale et le retard de croissance. Tous les autres effets ont des associations statistiquement non significatives ;

- Chez l'homme, le bromodichlorométhane est associé aux avortements, à la mortinatalité, au retard de croissance et aux malformations du système nerveux central avec des risques relatifs s'étendant de 1,3. [20]

**Tableau XVIII:** Effets sur le développement embryon-fœtal du bromodichlorométhane chez l'animal. [20]

	Narotsky (1997) [56]	Narotsky (1993) [57]	Bielmeier (2001) [58]	Ruddick [1983] [52]
Animal	Rat	Rat	Rat	Rat
Voie d'exposition	Ingestion	Ingestion	Ingestion	Ingestion
Durée	10j	2-10j	5j	10j
Résorption fœtale	+	-	+	-
Embryotoxicité	-	-	-	-
Retard de développement	-	-	-	-
Baisse survie néonatale	-	-	-	-
Térogénicité	-	-	-	-
Dose ou concentration	-	75 mg/kgj	0-100 mg/kg-j	0-200 mg/kgj
NOAEL	25 mg/kgj	-	50 mg/kg-j	200 mg/kgj
LOAEL	-	-	-	-

+ association positive ; - pas d'association

#### • Dichloroacétate

- Les résultats des études chez l'animal montrent des associations statistiquement significatives avec la résorption fœtale, la térogénicité et le retard de croissance. Les écarts entre les doses sont importants d'une étude à l'autre, conduisant à une grande incertitude dans l'établissement d'un NOAEL ;

- Chez l'homme, il n'y a pas d'étude portant spécifiquement sur le dichloroacétate. [20]

**Tableau XIX :** Effets sur le développement embryon-fœtal du dichloroacétate chez l'animal. [20]

	Smith (1992) [59]	Narotsky (1996) [56]	Linder (1997) [88]	Epstein (1992) [74]
Animal	Rat	Souris	Rat	Rat
Voie d'exposition	Ingestion	Ingestion	Ingestion	Ingestion
Durée	10j	10j	1j	3-4j
Résorption fœtale	+	-	+	-
Embryotoxicité	-	-	-	-
Retard de développement	+	-	-	-
Baisse survie néonatale	-	-	-	-
Térogénicité	+	-	-	+
Dose ou concentration	0-2 400 mg/kgj	0-7.4 mmol/kgj	0-3 000 mg/kg-j	1 900 mg/kgj
NOAEL	14 mg/kgj	0.4 mmol/kgj	-	200 mg/kgj
LOAEL	-	-	1 500 mg/kg-j	-

+ association positive ; - pas d'association

- **Autres composés**

Chez l'homme :

- Le chlorodibromométhane a été associé à un risque de prématurité et de malformations, mais ces risques n'étaient pas statistiquement significatifs ; en revanche, aucune association n'a été trouvée avec le faible poids de naissance et le retard de croissance.

- Le bromoforme a été associé à une augmentation non statistiquement significative de la prématurité des nouveaux-nés ; en revanche, aucune association n'a été établie avec un faible poids de naissance, un retard de croissance ou des malformations.

- Quant aux haloaldéhydes, halocétones, halohydroxyfuranones, les synthèses déjà faites ne rapportent actuellement aucune donnée toxicologique, ni chez l'animal ni chez l'homme. [20]

**Tableau XX** : Effets sur le développement embryofœtal chez l'animal d'autres SPD. [20]

Substances	Effet	Doses expérimentales	Durée exposition	Références
Dibromochlorométhane	Absence d'effet	200 mg/kg-j	10j	[52]
	Baisse de la survie néonatale	NOAEL=855 mg/kg-j	56j	[54]
Bromoforme	Absence d'effets	200 mg/kg-j	10 S, 14j	
	Absence d'effets foetotoxiques	100 mg/kg-j		[52,58,62]
Trichloroacétate	Résorption fœtale	LOAEL=250 mg/kg-j	10j	[63]
	Anomalies cardiaques			
	Anomalies squelettiques			
Bromochloroacétate	Effets embryotoxiques	NOAEL=20 mg/kg-j	16j	[64]
Dibromoacétate	Diminution de la survie postnatale	NOAEL=1,8 mmol/kg-j	10j	[56]
	Anomalies du développement			
	Pas d'effets embryotoxiques	NOAEL=250 mg/kg-j	6j	[55]
Bromodichloroacétate	Absence de données			
Dichloroacétonitrile	Résorption fœtale	0-55 mg/kg-j	18j	[66]
	Retard de développement fœtal			
	Diminution de la survie néonatale			
	Résorption fœtale	NOAEL=15 mg/kg-j	13j	[63]
	Anomalies cardiaques			
	Anomalies squelettiques			
	Malformations urogénitales			
Pas d'effets tératogènes	NOAEL=250 mg/kg-j	1j	[67]	
Bromodichloroacétonitrile	Effets embryotoxiques	NOAEL=25 mg/kg-j	13j	[68]
	Retard de développement			
	Anomalies cardiaques			
	Retard de développement fœtal	0-55 mg/kg-j	18j	[66]
	Pas d'effets tératogènes	NOAEL=250 mg/kg-j	1j	[67]

➤ **Effets sur la reproduction :**

- **Le chloroforme :**

- C'est principalement la fertilité qui est étudiée, notamment les anomalies du sperme. Les résultats des études expérimentales animales sont partagés entre ceux qui concluent à une

association et ceux qui rapportent un résultat négatif. La gamme de doses utilisées peut être une explication.

- Chez l'homme, aucune information n'est disponible sur la toxicité du chloroforme sur les fonctions de reproduction et de développement fœtal. [20]

- **Bromodichlorométhane**

- Une seule étude a montré des anomalies du sperme de rat après administration de 0 à 39 mg/kg/j de BDCM dans l'eau de boisson pendant 56 semaines ; un NOAEL a été identifié à 33 mg/kg-j ;

- Chez l'homme, il n'y a pas d'étude portant sur les effets sur la reproduction. [20]

- **Le dichloroacétate**

- Les deux études conduites chez l'animal montrent des anomalies du sperme chez le rat après gavage. Les doses administrées vont de 0 à 3 000 mg/kg-j pendant 1 jour (LOAEL=1 500 mg/kg-j), de 0 à 1 440 mg/kg-j pendant 14 jours (LOAEL=54 mg/kg-j) et de 0 à 125 mg/kg-j pendant 10 semaines (LOAEL=31,1 mg/kg-j);

- Chez l'homme, il n'y a pas eu d'étude sur les effets sur la reproduction. [20]

**Tableau XXI** : Effets sur la reproduction chez l'animal d'autres SPD. [20]

Substances	Effet	Dose	Durée exposition	Références
Dibromochlorométhane	Pas d'étude animale et humaine			
Trichloroacétate	Pas d'étude animale et humaine			
Bromochloroacétate	Pas d'étude animale et humaine			
Dibromoacétate	Anomalies du sperme	LOAEL=10 mg/kg-j	14j	[69]
		NOAEL=2 à 10 mg/kg-j	79j	[60,70]
	Pas d'anomalies du sperme	0-1 200 mg/kg-j		[71]
Dichloroacétonitrile	Diminution de la fertilité	0-56 mg/kg-j	15j	[66]

### **III-1-5-Réduction ou modélisation des SPD dans l'eau potable :**

Les installations et procédés de traitement doivent être optimisés de manière à réduire la formation de THM au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre sans compromettre la désinfection.

Il existe trois approches pour réduire les concentrations de THM dans l'eau potable traitée :

#### **❖ Elimination des précurseurs des THM avant la désinfection :**

Les études ont montré que, de manière générale, l'enlèvement des précurseurs des THM diminue le risque de formation des autres sous-produits de désinfection. D'habitude, la quantité totale de sous-produits formés diminue proportionnellement au degré d'enlèvement du COT. Selon de récents travaux de recherche : des essais de floculation qui reproduisaient le traitement de l'eau par mélange rapide, coagulation, floculation et décantation, puis du chlore y était ajouté à différentes étapes afin de simuler l'effet que produirait ce dosage en différents points sur la formation de sous-produits. Le déplacement du point de chloration vers l'aval du processus de traitement réduit parfois la quantité de sous-produits de désinfection. (Voir le tableau ci-dessous). [21]

**Tableau XXII:** Pourcentage de réduction de SPD obtenu grâce au déplacement de la chloration en aval du traitement. [21]

Point de chloration	THM standard * (%)	THM Accrue ** (%)	HAA5 Standard * (%)	HAA5 Accrue ** (%)
Avant le mélange rapide	Donnée de référence	17	Donnée de référence	4,7
Après le mélange rapide	1,6	21	5,3	21
Au milieu de la floculation	8,7	36	14	36
Après la décantation	21	48	35	61

*Standard : dose standard de coagulant (alun) pour un enlèvement optimal de la turbidité (~30 mg/L).*

*\* Accrue : surdosage de coagulant (alun) pour un enlèvement optimal du COT (~52 mg/L).*

**❖ Modification des techniques de désinfection et utilisation d'autres types de désinfectants :**

L'ozonation et la filtration lente se sont avérées efficaces pour l'enlèvement des précurseurs des THM et AHA. On note un enlèvement maximum entre 98 et 99% des THM et entre 86 et 99% des AHA suite à la chloramination de l'eau produite par les tests pilotes (consiste en une colonne d'ozonation et de filtration lente visant à l'enlèvement des précurseurs des SPD tel que les acides humiques et fulviques). [22]

❖ **Recours à une autre source d'approvisionnement en eau :** en exploitant d'autres sites d'eaux de surfaces ou souterraines. (*Santé Canada, mai 2006*),

### III-2-La résistance au chlore :

La désinfection de l'eau, ayant pour but d'inactiver ou de détruire les micro-organismes, se révèle parfois inefficace car certains microorganismes plus résistants tels les virus, les kystes, les spores des clostridies sulfio-réductrice ou *Clostridium perfringens* sont retrouvés dans l'eau traitée. (*P. Payment et al. 1998*)

En général, La résistance des bactéries aux agents désinfectants se fait par des changements du génome, provoqués par deux procédés génétiques : la mutation et la sélection.

La sélection naturelle suit le principe suivant :

Une mutation spontanée sur l'un des chromosomes de la bactérie va conférer à cette bactérie une résistance à un antibiotique ou à un produit désinfectant précis. Lorsque l'ensemble de la population bactérienne subit l'agression d'un biocide, seules les bactéries possédant le gène résistant ne seront pas détruites. Elles pourront alors se multiplier, et former une nouvelle colonie résistante au biocide. [23]

Pour résister à l'action des biocides, les bactéries peuvent présenter plusieurs types de modifications :

- Production de nouvelles enzymes, chargées de lutter contre le biocide.
- Changement dans la structure interne de la cellule.
- Modification de la perméabilité de la membrane cytoplasmique.
- Modification de la structure de la paroi de la cellule.

De nombreuses recherches sont actuellement menées afin de déterminer les mécanismes mis en jeu permettant d'activer une résistance à certains produits. La majeure partie de ces

recherches porte sur l'étude des biofilms, qui jouent un rôle important dans la protection des bactéries contre l'exposition à des agents désinfectants. [23]

Les biofilms sont des dépôts de microorganismes et de substances extra-cellulaires. [24] Ils se forment en plusieurs étapes pendant lesquelles les bactéries adhèrent à la surface des équipements ou des joints, se protègent grâce à une couche de polysaccharides, et se développent sous forme de colonies.

La destruction de la couche de protection est très difficile avec les moyens classiques de désinfection. La plupart des biocides nécessitent un temps d'action ou/et une concentration élevée pour agir à l'intérieur du biofilm et ainsi attaquer les cellules. [23]

Dans ce contexte, maintenir un taux de désinfectant résiduel n'est pas suffisant pour lutter contre les bactéries, si celui-ci n'est pas capable de pénétrer à l'intérieur des biofilms. Afin d'assurer l'absence de formation de biofilms, le maintien d'un taux de chloramines résiduel (supérieur à 2 mg/l dans une eau non corrosive) apporte de nombreux avantages. A titre d'exemple, le tableau ci-dessous présente les différents organismes pathogènes transporté par l'eau, avec leur importance sanitaire ainsi que leur résistance au chlore. [23]

**Tableau 23 :** Résistance au chlore de certains pathogènes de l'eau. [23]

Organisme pathogène	Importance sanitaire	Persistance dans l'eau	Résistance au chlore	Dose infectante relative
<i>Bactéries</i>				
E.Coli	Grande	Modérée	Faible	Élevée
<i>Salmonella typhi</i>	Grande	Modérée	Faible	Élevée
<i>Vibrio cholera</i>	Grande	Brève	Faible	Élevée
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Modérée	Peut se multiplier	Modérée	Élevée
<i>Virus</i>				
Entérovirus	Grande	Longue	Modérée	Faible
Hépatite A	Grande	?	Modérée	Faible
Hépatite non A, non B	Grande	?	?	Faible
Rotavirus	Grande	?	?	Modérée
<i>Protozoaires</i>				
<i>Entamoeba histolytica</i>	Grande	Modérée	Élevée	Faible
<i>Giardia</i>	Grande	Modérée	Élevée	Faible
<i>Cryptosporidium</i>	Grande	Longue	Élevée	Faible

Résistance au chlore : Dose normal et temps normal, lorsque la résistance est modérée, l'organisme peut ne pas être totalement détruit, lorsque la résistance est faible, l'organisme est totalement détruit.

Dose infectante relative : Dose nécessaire pour provoquer l'infection chez 50% de volontaires adultes.

**CHAPITRE IV :**

**MISE EN EVIDENCE DES THM DANS  
L'EAU DE CONSOMMATION  
HUMAINE**

Produced with Scantopdf

L'objectif de notre travail consistait en une mise en évidence du chloroforme et du bromoforme dans l'eau de consommation de Guelma. Malheureusement, suite à des défaillances techniques il n'a pu être atteint. Ainsi, prendrons nous comme modèle d'étude pour témoigner de la présence de ces THM, l'analyse faite par Mme Khallef Messaouda, dans les eaux d'Annaba.

Toutefois, nous avons pu tirer les informations suivantes concernant l'eau de Guelma .

La station de Guelma traite l'eau qui provient du barrage Bouhamdane, par pré-chloration, coagulation-floculation, décantation, filtration et désinfection finale. Nous avons pu en déterminer quelques paramètres physico-chimiques, selon le tableau suivant :

**TableauXXIV** . Présentation de certains paramètres physico-chimiques des eaux de Guelma du 25 Mai 2011

Eléments	Unités	Eaux (Barrage Bouhamdane)	
		Eau brute	Eau traitée
pH		7,99	7,87
Température	°C	13,7	13,6
Conductivité	µS/cm	453	457
Salinité totale		0	0
TDS	mg/l	258	261
TH	F°	20	20
TAC	F°	12,7	12,7
TA	F°	0	0
Chlorures	mg/l	71	71
Nitrates NO <sub>2</sub>	mg/l	0,002	0
Oxydabilité au permanganate de potassium	mg de KMnO <sub>4</sub>	5,5	0

Four : 40°C pendant 3 minutes puis chauffage à raison de 10°C/min.

Température de l'injecteur, 220-350.

Température du détecteur, 250-340.

Le dosage a été réalisé au sein du laboratoire de chimie organique à l'Université BADJI MOKHTAR, ANNABA.

#### IV-4-Résultats

Les résultats de la mise en évidence du chloroforme et du bromoforme sont représentés dans les figures ci-après.

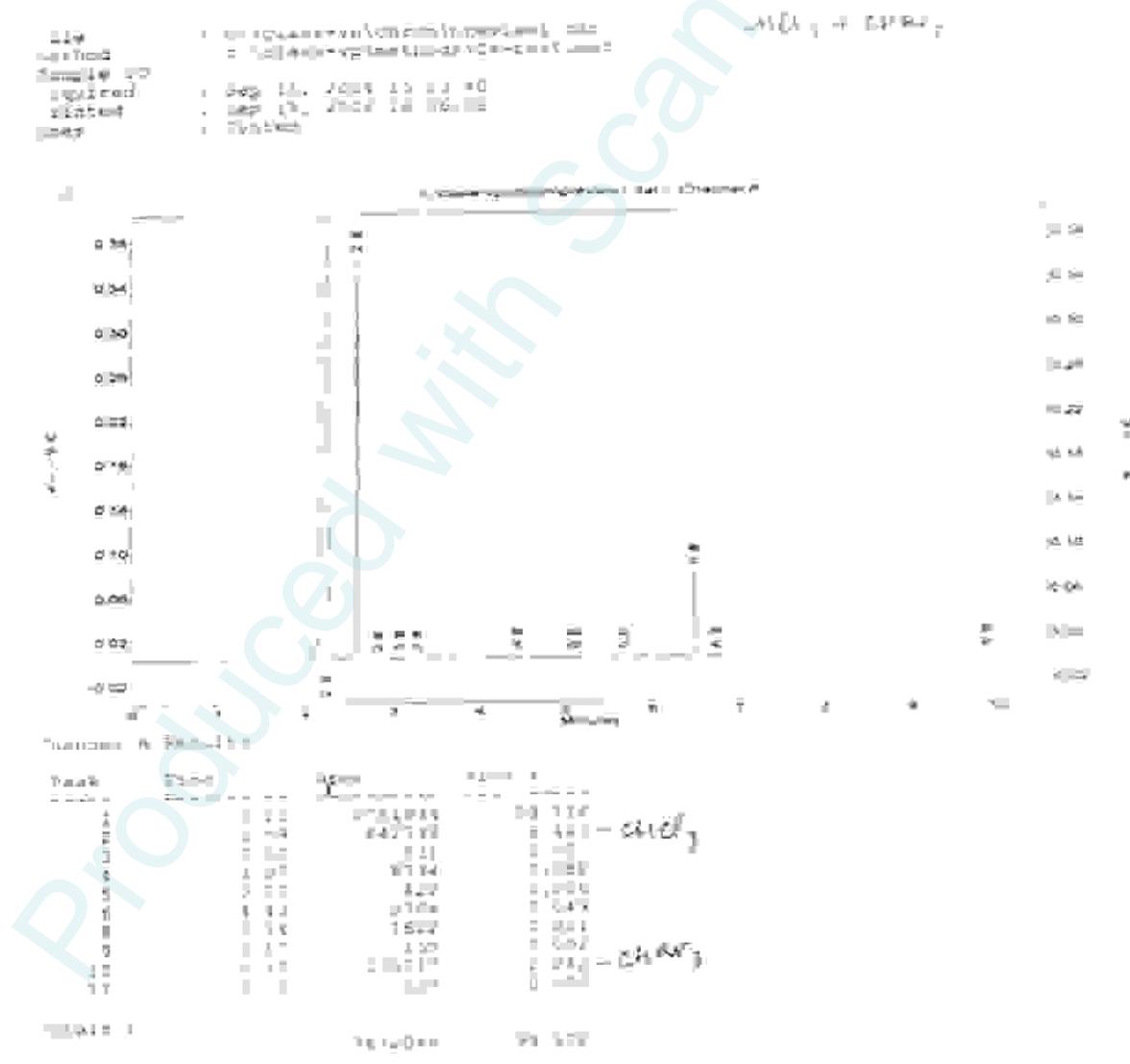
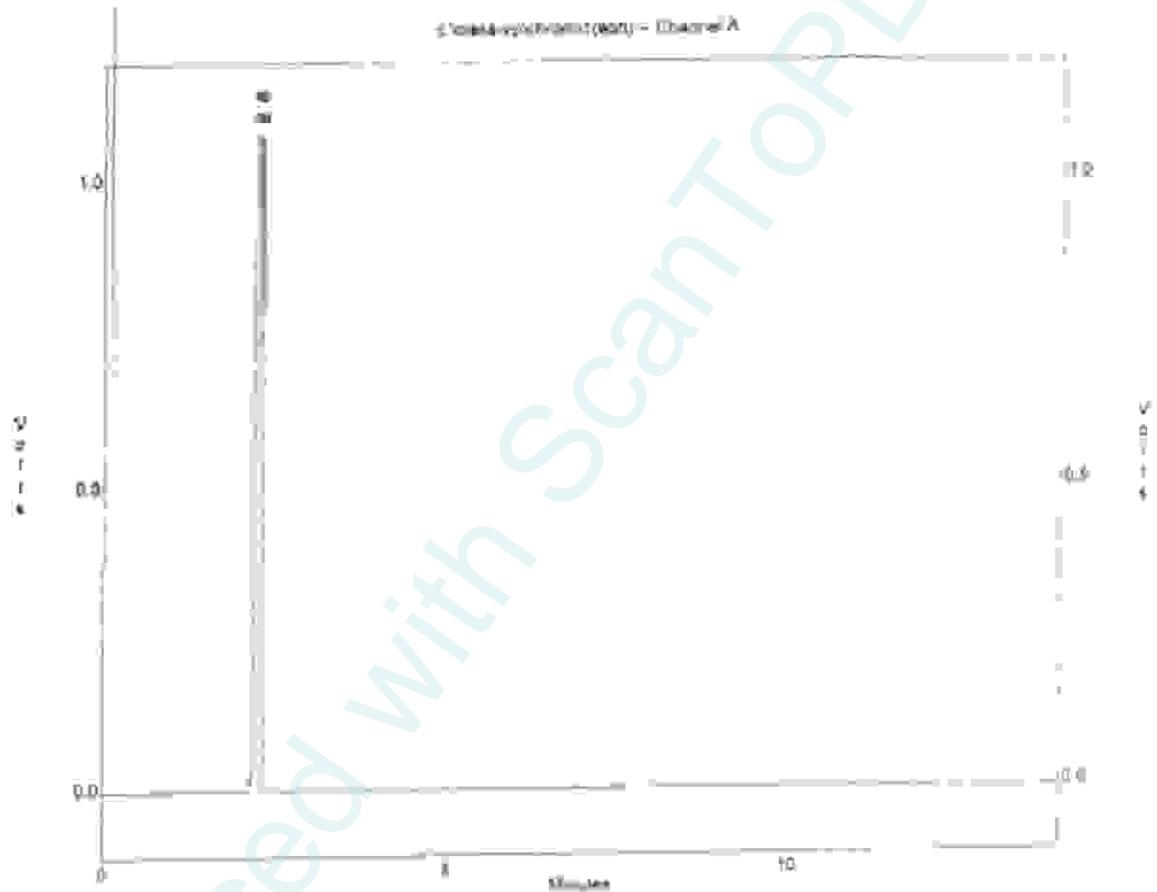


Figure 16 : Chromatographie du dosage des références CHCl<sub>3</sub> et CHBr<sub>3</sub>. (Khallelf Messaouda, 2004)

File : C:\Program Files\Agilent\1100\1100\110001\110001.D  
 Method : C:\Program Files\Agilent\1100\1100\110001\110001.M  
 Sample ID : 110001  
 Acquisition : 11/11/04 11:11:11  
 Injection : 11/11/04 11:11:11  
 Date : System



Channel A Results

Peak	Time	Area	Area %
1	2.25	488883	97.84
2	2.30	101067	1.74
Totals:		500000	100.00

**Figure 17 :** Chromatographe du dosage  $\text{CHCl}_3$  et  $\text{CHBr}_3$  dans l'eau brute. (Khalief Messaouda, 2004)



## CONCLUSION

Produced with ScanTOPDF

La santé humaine est un sujet de préoccupation sans cesse grandissant dans chaque société en développement, devant l'ampleur des dégâts causés par des maladies déjà connues et même nouvellement découvertes. De ce fait tout ce qui touche à la consommation humaine, fait l'objet d'un contrôle sanitaire à l'instar de l'eau, qui n'est distribuée qu'une fois traitée, assainie car comme le dit la célèbre phrase de Louis Pasteur, « Nous buvons 90% de nos maladies ».

Le chlore utilisé comme désinfectant, fait preuve d'une grande efficacité contre les micro-organismes, assurant ainsi une stabilité du point de vue microbiologique de l'eau potable. Mais sa réaction sur la matière organique naturelle, en association avec d'autres précurseurs, génère de nombreux SPD de nature organochlorés et organobromés à l'exemple des THM et AHA, principaux représentants de ces SPD.

Les études actuelles ont montré les effets cancérigène, mutagène, génotoxique que pouvaient avoir les SPD sur les animaux (rats, souris).

Chez l'homme, peu d'études fournissent des informations quant à ces effets, seules des probabilités ont été établies par rapport à l'impact négatif de certains SPD sur la santé du consommateur. Ce qui ne signifie en aucun cas, qu'il n'y a point lieu de s'inquiéter de leur présence dans l'eau, la preuve, leur quantité dans l'eau potable est régulière par des normes variant d'un état à un autre ou d'une organisation à une autre.

L'emploi d'autres moyens de désinfection permettrait la réduction des SPD dans l'eau, mais soit le coût, soit les inconvénients de ces derniers, ne facilite cette perspective. Ainsi, des recherches plus approfondies devraient se faire :

- \* Pour trouver des solutions accessibles à tous pour la diminution de leur concentration dans l'eau.
- \* Pour la détermination de leurs effets sur la santé de l'homme afin de conscientiser d'avantage les esprits sur les risques qu'ils représentent.

C'est en cela que nous espérons qu'au travers des échantillons d'eaux (brute, décantée, filtrée et traitée) que nous avons prélevés au niveau de la station de Guelma, il sera effectué dans un avenir proche, une mise en évidence des SPD et des tests mutagènes, génotoxiques (à l'exemple du SOS chromotest et du test d'Ames), effectués au niveau d'Annaba.

## **BIBLIOGRAPHIE**

Produced with ScanTOPDF

## Documents

1) ADE SYNDICAT ZONE (23 Mai 2011)

Journal officiel de la république Algérienne n°18, 4

2) BELHABES Elayeche ; BOUDEFFA Khaireddine et RAHIM Mohamed (Juin 2004)

Mémoire : Analyse physico-chimique d'une eau potable, 46

3) B. El-Attafia ; M. Soraya (16 juin 2009)

L'hyperchloration de l'eau de robinet et cancer de la vessie dans la région de Mostaganem (Ouest algérien), 5

4) CLAUDE CARDOT (1999)

Génie de l'environnement, les traitements de l'eau : procédés physicochimiques et biologiques. Edition ELLIPSES, 247

5) EMILIAN KOLLER (2004)

Traitement des pollutions industrielles. Edition DUNOD, 424

6) F. BERNE ET J. CORDONNIER (1991)

Traitement des eaux, Editions TECHNIP, 306

7) FRANCIS VAILLANCOURT, 2006

Mémoire : Guide de vérification du respect des normes sur les sous produits de désinfection à l'intention des installations ne désirant pas filtrer leurs eaux, 166

8) FRANÇOIS ANTIL (2008)

L'eau et ses enjeux, Edition De Boeck, 228

9) JACQUES MAYET (1994)

La pratique de l'eau (traitement de l'eau aux points d'utilisation, comportement de l'eau dans les installations, origines des désordres et solution), 2<sup>ème</sup> édition le moniteur

10) JEAN-CLAUDE BELLES-ISLES, KARINE CHAUSSE, EN COLLABORATION AVEC DENISE PHANEUF GROUPE SCIENTIFIQUE SUR L'EAU (2002)

Trihalométhanes, dans Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Institut national de santé publique du Québec, 11

11) J-M BRIGNON, E. MARTINEZ, S. SUREAU (29 Mars 2006)

CHLOROFORME, 49

12) J. RODIER (1996)

Analyse de l'eau : eaux naturelles, aux résiduaires, eaux de mer. Huitième édition DUNOD, 1383

13) KHALLEF MESSAOUDA (2004)

Mémoire : Evaluation de l'activité mutagène et génotoxique des eaux potables traitées par le chlore (station chaïba : ville d'Annaba), 87

14) MIREILLE DEFRANCESCHI (1996)

L'eau dans tous ses états ; Edition ELLIPSE

15) ROLAND VILAGINES (2003)

Eau, Environnement et Santé publique, 2<sup>ème</sup> édition Lavoisier, 198

16) SANTE CANADA (2008)

Document de conseils sur l'hydrate de chloral dans l'eau potable. Bureau de l'eau, de l'air et des changements climatiques, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario).

17) SANTE CANADA (2008)

Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique - Les acides haloacétiques. Bureau de l'eau, de l'air et des changements climatiques, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario).

18) STEVE E. HRUDEY (2008)

Les sous-produits de la désinfection (SPD) par chloration dans l'eau potable et la santé publique au Canada, Introduction à l'intention des praticiens en santé publique, Revue des données probantes issues de 30 ans de recherche, Centre de collaboration nationale en santé environnementale.

**Sites internet**

- [1] (<http://www.obs-vlfr.fr/Enseignement/enseignants/copin/H2O.pdf>)
- [2] ([http://ressources.univ-lemans.fr/AccessLibre/UM/Pedago/chimie/01/deug/CHIMDISCRI/pdf/descr\\_2.pdf](http://ressources.univ-lemans.fr/AccessLibre/UM/Pedago/chimie/01/deug/CHIMDISCRI/pdf/descr_2.pdf))
- [3] ([http://fr.wikipedia.org/wiki/Eau\\_potable](http://fr.wikipedia.org/wiki/Eau_potable))
- [4] ([www.gdes74.edres74.net/.../eausee2.htm](http://www.gdes74.edres74.net/.../eausee2.htm))
- [5] (<http://tpeeaupotable.ifrance.com/paramètre%20organoleptiques.htm>)
- [6] (<http://tpeeaupotable.ifrance.com/param%20trephsico-chimique.htm>)
- [7] (<http://tpeeaupotable.ifrance.com/param%20tre%20toxiques.htm>)
- [8] (<http://tpeeaupotable.ifrance.com/param%20tre%20substances%20ind%20sirable.htm>)
- [9] (<http://tpeeaupotable.ifrance.com/param%20tre%20microbiologiques.htm>)
- [10] ([http://www.al.sace.sante.gouv.fr/accueil/...tsite/.../eau/eau06\\_limites.pdf](http://www.al.sace.sante.gouv.fr/accueil/...tsite/.../eau/eau06_limites.pdf))
- [11] La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaires : Emmanuel JESTIN  
(<http://www.eau-seine-normandie.fr/fileadmin/mediatheque/bocage-normands/pdf/traitement%20des%20eaux%20et%20consommation.pdf>)
- [12] (<http://www.lenntech.fr/désinfection/désinfectants-sous-produits.htm>)
- [13] (<http://en.wikipedia.org/wiki/Trihalomethane>)
- [14] (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Chloroforme>)
- [15] ([http://www.lenntech.fr/désinfection/Les différents types de sous-produits de la désinfection.htm](http://www.lenntech.fr/désinfection/Les_différents_types_de_sous-produits_de_la_désinfection.htm))
- [16] (<http://www.crad.ulaval.ca/grepul/spd/spd/spd.htm>)
- [17] ([http://www.crad.ulaval.ca/grepul/spd/spd/spd.htm#menu\\_parametre](http://www.crad.ulaval.ca/grepul/spd/spd/spd.htm#menu_parametre))
- [18] (<http://www.crad.ulaval.ca/grepul/spd/spd/tc.htm>)

[19] (<http://www.crad.ulaval.ca/grepul/spd/spd/dose.htm>)

[20] [http://www.invs.sante.fr/publications/2004/chloration\\_eau\\_161204/chloration.pdf](http://www.invs.sante.fr/publications/2004/chloration_eau_161204/chloration.pdf)

[21] (<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/potable/guide/documents/volume2.pdf>)

[22] Réduction des sous-produits de la chloration (SPD) par ozonation et chloramination de l'eau: Études de terrain, pilotes et de laboratoire. (Cynthia Guay)

[http://www.vrm.ca/documents/C9\\_GUAY.pdf](http://www.vrm.ca/documents/C9_GUAY.pdf)

[23] (<http://www.lenntech.fr/resistance-antimicrobienne.htm>)

[24] [www.prominent.com/.../Dioxyde-de-chlore-pour-la-lutte-contre-les-legionelles-dans-l-eau-potable.aspx](http://www.prominent.com/.../Dioxyde-de-chlore-pour-la-lutte-contre-les-legionelles-dans-l-eau-potable.aspx)

Produced with ScanTopDF

**ANNEXES**

Produced with ScantOPDF

**Liste des annexes**

<b>Tableaux</b>	<b>Intitulés</b>
1	Paramètres avec valeurs limites
2	Paramètres avec valeurs indicatives

Produced with Scantopdf

**Tableau 1** : Paramètres avec valeurs limites. (ADE SYNDICAT ZONE, 23 Mai 2011)

Groupe de paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs limites
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/l	0,2
	Ammonium	mg/l	0,5
	Baryum	mg/l	0,7
	Bore	mg/l	1
	Fer total	mg/l	0,3
	Fluorures	mg/l	1,5
	Manganèse	µg/l	50
	Nitrates	mg/l	50
	Oxydabilité	mg/l O <sub>2</sub>	5
	Phosphore	mg/l	5
	Antimoine	µg/l	20
	Acrylamide	µg/l	0,5
	Argent	µg/l	100
	Arsenic	µg/l	10
	Cadmium	µg/l	3
	Chrome total	µg/l	50
	Cuivre	mg/l	2
	Cyanures	µg/l	70
	Mercure	µg/l	6
	Nickel	µg/l	70
	Plomb	µg/l	10
	Sélénium	µg/l	10
	Zinc	µg/l	5
Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A) totaux fluoranthène, benzo (3,4) fluoranthène, benzo (11, 12) fluoranthène, benzo (3,4) pyrène , benzo (1, 12) pérylène, indéno (1,2,3-cd) pyrène, benzo (3,4) pyrène	µg/l	0,2	
Hydrocarbures dissous ou émulsionnés extraits au CCl <sub>4</sub>	µg/l	10	

	Phénols	µg/l	0,5
	Benzène	µg/l	10
	Toluène	µg/l	700
	Ethylbenzène	µg/l	300
	Xylènes	µg/l	500
	Styrènes	µg/l	100
	Agents de surface réagissant au bleu de méthylène	mg/l	0,2

Groupe de paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs limites
Paramètres chimiques (suite)	Epychlorehydrène	µg/l	0,4
	Microcystine LR	µg/l	0,1
	Pesticides (totaux)	µg/l	0,5
	Chlore	mg/l	5
	Chlorite	mg/l	0,07
	Trihalométhanés (THM) totaux Chloroforme, Bromoforme, Dibromochlorométhane, Bromodichlorométhane	µg/l	100
	Pesticides par substance individualisée Insecticides organochlorés persistants, organophosphorés et carbamates, les herbicides, les fongicides, les P.C.B et P.C.T A l'exception de aldrine et dieldrine	µg/l	0,1
	Trihalométhanés (THM) totaux Chloroforme, Bromoforme, Dibromochlorométhane, Bromodichlorométhane	µg/l	100
	1,2- Dichloroéthane	µg/l	30
	1,2- Dichlorobenzène	µg/l	1000
	1,4-Dichlorobenzène	µg/l	300
	Trichloroéthylène	µg/l	20
Tetrachloroéthylène	µg/l	40	
Radionucléides	Particules alpha	Picourie/l	15
	Particules bêta	Millirems/an	4
	Tritium	Bequerel/l	100
	Uranium	µg/l	15
	Dose totale indicative (DTI)	(mSv/an)	0,1
Paramètres	Escherichia coli	n/100ml	0

<b>microbiologiques</b>	Entérocoques	n/100ml	0
	Bactéries sulfitoréductrices y compris les spores	n/20ml	0

**Tableau 2** : Paramètres avec valeurs indicatives. (ADE SYNDICAT ZONE, 23 Mai 2011)

Groupe de paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
<b>Paramètres organoleptiques</b>	Couleur	mg/l Platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 12°C	Taux dilution	4
	Saveur à 25°C	Taux dilution	4
	Alcalinité	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	500
<b>Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux</b>	Calcium	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	200
	Chlorures	mg/l	500
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤9
	Conductivité à 20°C	µS/cm	2800
	Dureté	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	200
	Potassium	mg/l	12
	Résidus secs	mg/l	1500
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
	Température	°C	25

## Résumé :

La potabilisation de l'eau est une préoccupation mondiale, s'opérant grâce à de nombreux procédés et agents de traitement physiques ou chimiques. De par son faible coût et son utilisation aisée, le chlore en tant que désinfectant de l'eau de consommation, est très employé. Son principal inconvénient réside dans la production de SPD dont les effets néfastes sur l'animal, présagent un danger pour la santé humaine.

Mots clés : Potabilisation - Traitement - Chlore - SPD - Danger

## Summary :

The drinkable water is a global concern, taking place through many processes and physical agents or chemical treatment. Because of its low cost and easy use, chlorine as a disinfectant for drinking water, is widely used. Its main drawback lies in the production of DBPs with adverse effects on animals, portend a danger for human health.

Keywords : Potabilization - Treatment - Chlorine - SPD - Danger

## ملخص :

المياه الصالحة للشرب هو مصدر قلق عالمي، تجري من خلال العديد من العمليات وكلاء المادية أو المعالجة الكيميائية. بسبب تكلفتها المنخفضة وسهولة الاستخدام، والكلور كمطهر لمياه الشرب، ويستخدم على نطاق واسع. العيب الرئيسي يكمن في إنتاج تعقيم ثانوي مع آثار سلبية على الحيوانات، وتنتشر خطرا على صحة الإنسان.

كلمات البحث : تنقية -- العلاج -- الكلور -- تعقيم ثانوي -- خطر.