



HAL
open science

La désinfection par le chlore des eaux destinées à la consommation humaine : intérêts et limites de cette pratique : bilan d'une enquête effectuée dans le département de l'Isère

Christèle Le Gulludec

► To cite this version:

Christèle Le Gulludec. La désinfection par le chlore des eaux destinées à la consommation humaine : intérêts et limites de cette pratique : bilan d'une enquête effectuée dans le département de l'Isère. Sciences pharmaceutiques. 1995. dumas-01817651

HAL Id: dumas-01817651

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01817651>

Submitted on 18 Jun 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il n'a pas été réévalué depuis la date de soutenance.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact au SID de Grenoble :
bump-theses@univ-grenoble-alpes.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

<http://www.cfcopies.com/juridique/droit-auteur>

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

1er exemplaire



UNIVERSITE Joseph FOURIER
GRENOBLE 1 - Sciences Technologie Médecine
U.F.R. DE PHARMACIE - Domaine de la Merci - La Tronche

Année : 1995

N° D'ORDRE : 7036

**La désinfection par le chlore
des eaux destinées à la consommation humaine :**

**Intérêts et limites de cette pratique -
Bilan d'une enquête effectuée dans le
département de l'Isère.**

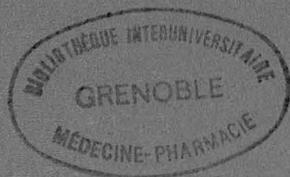
THESE

Présentée à l'Université Joseph FOURIER - GRENOBLE 1
pour obtenir le grade de DOCTEUR EN PHARMACIE

Par Christèle LE GULLUDEC, [Données à caractère personnel]

Cette thèse sera soutenue publiquement le 5 Juillet 1995 à 17 heures devant le
Jury composé de :

- | | | |
|-------------------|---------------------------|-----------------|
| Président du Jury | Monsieur ROCHAT Jean | Professeur |
| | Monsieur POTELON Jean Luc | Ingénieur du |
| | | Génie Sanitaire |
| | Madame PAILLET Isabelle | Pharmacien |



UNIVERSITE Joseph FOURIER
GRENOBLE 1 - Sciences Technologie Médecine
U.F.R. DE PHARMACIE - Domaine de la Merci - La Tronche

Année : 1995

N° D'ORDRE :

**La désinfection par le chlore
des eaux destinées à la consommation humaine :**

**Intérêts et limites de cette pratique -
Bilan d'une enquête effectuée dans le
département de l'Isère.**

THESE

Présentée à l'Université Joseph FOURIER - GRENOBLE 1
pour obtenir le grade de DOCTEUR EN PHARMACIE

Par Christèle LE GULLUDEC, [Données à caractère personnel]

Cette thèse sera soutenue publiquement le 5 Juillet 1995 à 17 heures devant le
Jury composé de :

Président du Jury

Monsieur ROCHAT Jean

Professeur

Monsieur POTELON Jean Luc

Ingénieur du

Génie Sanitaire

Madame PAILLET Isabelle

Pharmacien

Je tiens à remercier :

Monsieur le Professeur J. ROCHAT

pour m'avoir sensibilisée à l'hydrologie
et pour l'honneur qu'il me fait de présider cette thèse

Monsieur J.L. POTELON

pour m'avoir confié le sujet de ce travail et guidée dans sa réalisation.

Madame I. PAILLET

pour avoir accepté de faire partie du jury.

À mes parents

À Manu

PLAN

INTRODUCTION.....	p9
-------------------	----

PREMIERE PARTIE : Le risque sanitaire lié à la consommation d'eau de boisson dans les pays développés.

INTRODUCTION.....	p12
-------------------	-----

1. MICRO-ORGANISMES ET PATHOLOGIES TRANSMISES PAR LES EAUX DE BOISSON

<u>1.1. Les virus du milieu hydrique</u>	p13
1.1.1. Les virus des hépatites.....	p13
1.1.2. Les entérovirus.....	p14
1.1.3. Les virus des gastro-entérites.....	p15
<u>1.2. Les bactéries</u>	p17
<u>1.3. Les protozoaires</u>	p18
<u>1.4. Pouvoir infectieux par voie orale</u>	p18
<u>1.5. Impact sanitaire</u>	p20
<u>1.6. Le risque sanitaire : exemples</u>	p22
1.6.1. Le risque épidémique.....	p22
1.6.2. Le risque chronique	p22

2. ORIGINE DES CONTAMINATIONS.....	p23
------------------------------------	-----

3. PROTECTION DES RESSOURCES.....	p24
-----------------------------------	-----

4. SURVEILLANCE MICROBIOLOGIQUE DES EAUX DE BOISSON

<u>4.1. Principe du contrôle</u>	p25
4.1.1. Les indicateurs bactériens.....	p25
4.1.2. Fréquence des contrôles.....	p28
4.1.3 Les responsables.....	p29
<u>4.2. Les normes</u>	p30

DEUXIEME PARTIE : La désinfection par le chlore des eaux destinées à la consommation humaine.
--

INTRODUCTION.....p33

1. LES PRODUITS UTILISES POUR LA DESINFECTION PAR LE CHLORE

1.1. Le chlore gazeux.....p34

1.2. Les hypochlorites.....p34

1.3. Le bioxyde de chlore.....p35

2. ASPECT CHIMIQUE DE LA CHLORATION

2.1. Réaction du chlore dans l'eau.....p36

2.2. Réaction avec les substances chimiques présentes dans l'eau.....p38

2.3. Réactions d'oxydation annexes

2.3.1. Formation de trihalométhanes (T.H.M).....p40

2.3.2. Goûts et odeurs.....p41

3. ACTIVITE DESINFECTANTE DU CHLORE

3.1. Les paramètres de la désinfection.....p42

3.1.1. Paramètres influençant l'efficacité du chlore.....p42

3.1.2. Notion de C.T.....p43

3.1.3. Chloration résiduelle.....p44

3.2. Mécanisme d'inactivation des micro-organismes.....p44

3.2.1. Mécanisme d'inactivation des bactéries.....p44

3.2.2. Mécanisme d'inactivation des Virus.....p45

3.2.3. Mécanisme d'inactivation des protozoaires.....p45

3.3. Sensibilité des germes à la chloration.....p46

4. MISE EN OEUVRE DE LA CHLORATION

4.1. Appareillage pour la mise en oeuvre du chlore gazeux.....p52

4.1.1. Principe de fonctionnement d'un chloromètre sous-vide.....p52

4.1.2. Asservissements possibles.....p54

<u>4.2. Appareillage pour la mise en oeuvre de l'eau de Javel</u>	
4.2.1. les pompes doseuses.....	p55
4.2.2. les gouttes à gouttes.....	p56
4.2.3. L'injection manuelle d'eau de Javel.....	p56
4.2.4. Les comprimés d'hypochlorites de calcium.....	p57
4.2.5. Asservissements possibles.....	p57
<u>4.3. Comparaison des deux modes de chloration.....</u>	p57
<u>4.4. Mesure du résiduel de chlore.....</u>	p58

TROISIEME PARTIE : Situation dans le département de l'Isère - Bilan d'une enquête destinée à définir les causes de dysfonctionnement des dispositifs de chloration.
--

INTRODUCTION.....	p61
--------------------------	-----

1. MATERIEL ET METHODE.....	p62
------------------------------------	-----

<u>1.1. Présentation du terrain d'étude : l'Isère.....</u>	p62
1.1.1. Situation géographique.....	p62
1.1.2. Nature de la ressource en eau.....	p62
1.1.3. Qualité microbiologique des eaux distribuées.....	p64
1.1.4. Recensement des installations de désinfection.....	p66
<u>1.2. Elaboration du questionnaire.....</u>	p67
<u>1.3. Choix des sites.....</u>	p68
<u>1.4. Déroulement de l'enquête.....</u>	p71

**2.RESULTATS ET ANALYSE : DESCRIPTION DU PARC DES
INSTALLATIONS ET DES PRATIQUES DE CHLORATION**

<u>2.1. L'exploitant.....</u>	p72
<u>2.2. La ressource.....</u>	p73
<u>2.3. L'appareillage.....</u>	p73
<u>2.4. La mise en oeuvre de la chloration.....</u>	p75
<u>2.5. La mise en oeuvre de l'eau de Javel.....</u>	p78
<u>2.6. La maintenance des installations.....</u>	p79

3.SYNTHESE : LES PRINCIPALES CAUSES DE DYSFONCTION - NEMENT RECENSEES.....	p79
<u>3.1. Causes imputables à l'appareillage ou à la conception de l'installation.....</u>	<u>p80</u>
<u>3.2. Causes imputables à l'exploitation ou à la maintenance des installations.....</u>	<u>p81</u>
4.PROPOSITIONS EN TERMES TECHNIQUES ET D' ACTIONS A ENVISAGER POUR LA DDASS.....	p83
CONCLUSION.....	p86
ANNEXES.....	p88
BIBLIOGRAPHIE.....	p104

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La chloration des eaux potables occupe une place importante dans les annales de la préservation de l'homme et l'augmentation de la durée de vie.

Découvert en 1774 par Scheele, le chlore fut un siècle plus tard le premier agent chimique utilisé pour désinfecter l'eau, c'est à dire pour éliminer les micro-organismes susceptibles de générer des maladies.

A l'heure actuelle en France, le recensement des différents modes de désinfection mis en oeuvre sur les réseaux de distribution montre que, pour une très large majorité des installations, la désinfection est réalisée par chloration. Le chlore est unanimement reconnu comme un bon désinfectant. Par son caractère rémanent, il est censé protéger l'eau traitée vis-à-vis de pollutions qui pourraient survenir dans le circuit de distribution, et sa mise en oeuvre est réputée des plus simples.

Mais au delà de ces aspects positifs, des questions se posent : la chloration permet-elle d'éliminer tous les germes susceptibles de contaminer l'eau ? La chloration résiduelle a-t-elle des raisons d'être ?

Pour le département de l'Isère, ces dernières années ont été marquées par une augmentation importante du nombre d'installations de désinfection par le chlore. Pourtant, il n'est pas observé à ce jour une amélioration sensible de la qualité des eaux distribuées.

L'objet de cette étude est de dresser un bilan de la désinfection par le chlore des eaux destinées à la consommation humaine.

Nous verrons tout d'abord pourquoi il est nécessaire de désinfecter l'eau et quelles sont les modalités de surveillance de sa qualité microbiologique.

Nous étudierons ensuite l'aspect chimique de la chloration, l'activité désinfectante du chlore et les différents procédés permettant sa mise en oeuvre.

Enfin, ce travail sera illustré par une enquête destinée à expliquer l'insuffisance des résultats obtenus en matière de chloration dans le département de l'Isère.

PREMIERE PARTIE :
LE RISQUE SANITAIRE
LIE A LA CONSOMMATION D'EAU
DANS LES PAYS DEVELOPPES

Dans les pays industrialisés, le problème majeur de l'eau destinée à la consommation humaine a été longtemps d'ordre sanitaire.

L'eau, en tant que réservoir et véhicule d'agents pathogènes (bactéries, virus, parasites...), constituait un maillon essentiel dans la transmission de maladies infectieuses redoutables : choléra, dysenterie bacillaire, poliomyélite, fièvre typhoïde...

L'histoire comporte de nombreux cas où dans une armée, les maladies d'origine hydrique ont fait plus de morts que les combats eux-mêmes [66].

La relation entre ces maladies et l'eau de boisson n'a été établie qu'en 1854, quand SNOW a prouvé, lors de la violente épidémie de Londres, que l'eau contaminée jouait un rôle dans la propagation du choléra [63]. Ses conclusions précédaient de 20 ans la découverte des bactéries comme agents de contagion.

Lorsque le rôle de ces micro-organismes fut compris, l'analyse microbiologique et les méthodes de désinfection se sont développées.

La chloration des eaux, la création et l'extension des réseaux d'adduction publique, mais aussi les progrès en matière d'hygiène et de nutrition, la vaccination et l'antibiothérapie, ont abouti dans les pays industrialisés à la disparition, au cours du XX^{ème} siècle, des grandes épidémies historiques.

Cependant, en cette fin de siècle, la transmission par l'eau de boisson de maladies infectieuses demeure d'actualité.

Il est en effet observé l'apparition épisodique d'épidémies, à caractère aigu et localisé, de gastro-entérites, salmonelloses, hépatites virales...

L'épidémie du Havre en 1990, et sur laquelle nous reviendrons, en est un exemple récent.

Ces épidémies seraient en légère augmentation, notamment en Grande Bretagne [12] et aux USA [13], sans que l'on sache vraiment si cette augmentation traduit une réalité où l'amélioration de la surveillance épidémiologique.

A côté des infections épidémiques que l'on essaie de répertorier et de comptabiliser, se pose un autre problème : celui des infections endémiques chroniques (gastro-entérites et diarrhées), pour les populations alimentées

régulièrement par une eau non conforme aux normes microbiologiques de potabilité.

1. MICRO-ORGANISMES ET PATHOLOGIES TRANSMISES PAR LES EAUX DE BOISSON

Les principaux micro-organismes contaminants rencontrés dans l'eau de boisson sont les bactéries, les virus et les protozoaires pathogènes*.

La grande majorité de ces germes nocifs diffusent dans l'environnement aquatique par l'intermédiaire des souillures fécales humaines ou animales.

1.1. Les virus du milieu hydrique

Les virus abondent dans le milieu aquatique, aussi bien dans les eaux douces que marines. [57]

Ceux qui présentent un intérêt direct en santé humaine sont ceux capables de provoquer des infections chez l'homme. Ces virus sont, avant tout, ceux qui sont excrétés dans les selles d'individus infectés.

Or, plus de 130 virus pathogènes peuvent être éliminés dans les fèces humains [57]. Regroupés sous le nom de "virus entériques", ils appartiennent à plusieurs familles et genres.

1.1.1. Les virus des hépatites

Deux types de virus responsables de la survenue d'hépatites sont excrétés dans les selles et sont susceptibles d'être transmis par l'ingestion d'eau. Ce sont les virus des hépatites A (HAV) et E (HEV).

Ces virus se multiplient à l'intérieur des cellules du foie et sont ensuite éliminés par les voies biliaires.

* pathogènes: susceptibles de provoquer des maladies

Les symptômes observés sont un ictère accompagné d'asthénie, anorexie, courbatures, troubles digestifs et une fièvre le plus souvent modérée.

Le HEV est tenu pour responsable de l'épidémie d'hépatite survenue en 1956 à New Delhi, à partir des eaux de distribution contaminées par des eaux usées, et où 30.000 cas furent dénombrés.

Mais ces épidémies ne se limitent pas seulement aux pays en voie de développement. [57]

En France, les populations paient un lourd tribut à cette maladie et son origine hydrique paraît fréquente comme en témoignent certaines épidémies récentes (Guéret, Besançon). [34]

Qu'elle qu'en soit sa fréquence, l'hépatite est considérée comme la pathologie majeure qui reste liée à la distribution d'eau.

1.1.2. Les entérovirus

Le nom de ce groupe de virus provient du fait qu'ils effectuent une partie de leur phase de multiplication dans les intestins.

Le genre entérovirus comprend:

- *les Poliovirus*

L'infection qu'ils provoquent est inapparente dans 90 % des cas. [57]

Les manifestations cliniques se traduisent le plus souvent par une fièvre voire quelques réactions méningées, la poliomyélite aiguë étant exceptionnelle.

- *les Coxsackievirus et les Echovirus*

Ils sont responsables de paralysies, de méningites aseptiques, de rhinites et de diarrhées aiguës épidémiques.

En 1984, 80 cas de méningites aseptiques d'origine hydrique ont été signalées en Europe, provoquées par un virus Echo 4. [8]

- *Entérovirus 68 à 71*

Ils peuvent provoquer des affections respiratoires, des méningites, des encéphalites et des conjonctivites hémorragiques.

Des entérovirus ont été isolés et identifiés dans les eaux d'alimentation de nombreux pays, comme le montre le tableau suivant :

Pays d'isolement	Type de virus isolés	Auteurs
Canada	P1, 2, 3	SEKLA et al. (1980) [59]
Canada	P3, CB5	PAYMENT et al. (1985) [49]
Chine	Adéno, CB1, 5	ZHANG et al. (1984) [67]
Etats-Unis	CB3	HEJKAL et al. (1982) [29]
France	P1,3 ; CA; CB4 ; E11	FESTY (1984) [23]
France	Réo	SCHWARTZBROD et al. [58]
Grande-Bretagne	P1, 2 3 ; CB3, 5 ; E7, 11 22	TAYLOR (1982) [64]
Grande-Bretagne	P1	SLADE (1984) [61]
Israël	P1 ; E7	MARZOUK et al. (1980) [41]
Israël	Entéro	GUTTMAN-BASS et al.(1985) [25]
Mexique	Rota, Adéno, Entéro	KESWICK et al. (1984) [33]
Mexique	Rota, Entéro, CB3, 4, 5, 6	DEETZ et al. (1984) [17]

Entéro: Entérovirus

Rota : Rotavirus

Adéno : Adénovirus

Réo : Réovirus

CA : Coxsackie A virus

CB : Coxsackie B virus

Echo : Echovirus

P : Poliovirus

1.1.3. Les virus des gastro-entérites

Les gastro-entérites et diarrhées qui surviennent dans les pays industrialisés sont pour la plupart d'éthiologie inconnue, c'est à dire que leur cause n'est pas connue. Mais il apparait de plus en plus vraisemblable que ces troubles soient d'origine virale. [36]

Plusieurs groupes de virus à excrétion fécale sont mis en cause. Le tableau de la page suivante présente les caractéristiques principales de ces différents virus et les symptômes qu'ils engendrent chez l'individu infecté.

GENRE	SYMPTÔMES	REMARQUES
Rotavirus	asymptomatique chez l'adulte. chez l'enfant : - vomissements - fièvre - diarrhée	Considérés comme les agents majeurs des gastro-entérites aiguës sporadiques des jeunes enfants (50 % des enfants hospitalisés pour gastro-entérites en période hivernale) [57]
Réovirus	- diarrhée - symptômes respiratoires	
Calicivirus	- vomissements - diarrhée	
Virus de Norwalk	- maux de tête - diarrhée - nausées et vomissements - asthénie - fièvre peu élevée	Incubation courte Symptômes de courte durée
Astrovirus		Responsables d'épidémies de gastro-entérite bénignes chez l'enfant et l'adulte
Parvovirus	- diarrhée - vomissements - fièvre	
Coronavirus		Responsables de gastro-entérites chez l'adulte, d'entérocolites sclérosantes chez le nouveau-né
Coronavirus like (=agent de Breda ou de Berne)		Seraient responsables de gastro-entérites chez le nouveau-né et de "gripes intestinales" chez l'adulte
Adénovirus entérique	- fièvre - diarrhée - vomissements	Episodes gastro-entéritiques marqués chez l'enfant de moins de 2 ans - Responsables de 4 à 8 % des gastro-entérites infantiles

La mise en cause de cette large variété de virus dans la survenue d'épidémies hydriques constitue pour les épidémiologistes un des faits les plus marquants de ces deux dernières décennies en matière d'épidémiologie hydrique.

1.2. Les bactéries

Parmi les bactéries pathogènes rencontrées dans les eaux d'alimentation, il convient de distinguer celles qui ont été responsables, dans le passé, des grands fléaux épidémiques ou pandémiques :

- *Salmonella Typhi* et *paratyphi*, responsables des fièvres typhoïdes et paratyphoïdes.

En France, la dernière épidémie conséquente remonte à 1954.

- *Shigella dysenteria*, à l'origine de la dysenterie bacillaire

- *Vibrio cholerae*, agent du choléra.

Leur disparition dans les distributions d'eau traitée et désinfectée a laissé la place à une plus grande diversité bactérienne avec les agents responsables de gastro-entérites et de diarrhées banales. Les principales bactéries associées à ces manifestations intestinales figurent dans le tableau suivant :

BACTERIES	INFECTIONS
Salmonella s.p	gastro-entérite
Shigella Flexneri	gastro-entérite
Shigella Sonnei	gastro-entérite
Escherichia Coli	gastro-entérite
Yersinia Enterocolitica	entérocolite aigue
Campilobacter Jejuni	diarrhée
Leptospira s.p	leptospirose
Listeria	
Aeromonas	gastro-entérite, diarrhée
Legionnella	diarrhée, pneumopathies

Les *Shigelles* restent endémiques aux USA et représentent dans ce pays la cause la plus fréquente de gastro-entérites d'origines bactériennes. De nombreux cas sont également rapportés chaque année en Europe centrale, en Hongrie et Tchécoslovaquie.

En Grande Bretagne, c'est *Campylobacter Jejuni* qui est au 1^{er} rang des bactéries entéro-pathogènes.

1.3. Les protozoaires

Certains protozoaires dangereux pour l'homme peuvent contaminer l'eau d'alimentation.

Parmi ceux-ci, *Entamoeba Histolytica* est responsable de la Dysenterie amibienne qui sévit surtout dans les pays tropicaux. Il ne faut cependant pas négliger son rôle dans les pays tempérés et froids où elle demeure présente. Ainsi, en France et dans les pays développés, c'est une maladie qui n'est pas rarissime, surtout chez les sujets exposés : parmi les 300 égoutiers de la ville de Rennes, 11 % sont porteurs du germe. [34]

Le rôle de *Giardia Lamblia*, un pathogène intestinal responsable de diarrhées prolongées, est prépondérant dans les maladies hydriques. Les *Giardia* sont la première cause d'infections d'origine hydrique aux USA.

Une autre famille de protozoaires est maintenant considérée comme un important contaminant de l'eau : il s'agit des *Cryptosporidium*, responsables de diarrhées aqueuses.

Les infections à *Cryptosporidium* ont été souvent décrites chez les malades du SIDA ; de ce fait, elles ont attiré l'attention de la communauté médicale.

Plusieurs centaines de personnes ont été contaminées par *Cryptosporidium* en 1988, dans 2 villes côtières de Grande Bretagne. [62]

1.4. Pouvoir infectieux par voie orale

Pour estimer les risques d'infection par l'eau de boisson, il est important de connaître le nombre de cellules viables nécessaires pour induire cette

infection. Dans le cas des bactéries, il est généralement admis que le déclenchement de syndrômes digestifs chez un individu bien portant, avec une acidité gastrique normale, exige un minimum de l'ordre de 10^5 bactéries par gramme d'aliment ou millilitre d'eau ingérée [14]. Cependant, du fait de leur virulence particulière, certaines bactéries entéro-pathogènes peuvent provoquer des maladies même ingérées à de faibles quantités. C'est le cas de *Shigella Dysenteria*, dont la dose infectieuse est inférieure à 10 organismes. [55]

Le tableau suivant rapporte la dose infectieuse pour l'homme de plusieurs entérobactéries pathogènes.

Dose administrée (nombre de cellules viables)	Nombre de sujets infectés / nombre total de sujets testés								
	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9
<i>Shigella dysenteria</i>									
- souche M131	1/10	2/4	7/10	5/6					
- souche A.1		1/4		2/6					
<i>Shigella flexneri</i>									
- souche 2 A		6/33	33/49	66/87	15/24				
- souche 2 A				1/4	3/4	7/8	13/19	7/8	
<i>Salmonella typhi</i>									
- souche quailles			0/14		32/116		16/32	8/9	40/42
<i>Vibrio cholerae</i>									
- souche Inaba :									
- avec NaHCO ₃				11/13		45/52		2/2	
- sans NaHCO ₃				0/2		0/4	0/4	2/4	1/2
<i>E. coli entéropathogène</i>									
- souche 4608				0/5		0/5		4/8	

La dose infectieuse varie aussi selon l'âge et la santé des individus [47] ; par ailleurs, une exposition antérieure à un germe pathogène peut éviter une infection lors d'un nouveau contact avec ce même germe, grâce aux anticorps

induits. Au contraire, un nouveau sérotype introduit dans l'eau présentera un risque supérieur.

Enfin, il convient de rappeler qu'en dehors de la consommation directe d'eau, il existe d'autres modes de contaminations liés aux divers usages de l'eau potable: préparation des repas, toilette, inhalation, préparation à domicile des bains de dialyse...

1.5. Impact sanitaire

De nos jours, la grande majorité des troubles occasionnés par la consommation d'eau demeurent bénins et prennent la forme de gastro-entérites ou de diarrhées. Cependant, chez les nourrissons, les personnes affaiblies et chez les immuno-déprimés, les conséquences d'une contamination peuvent être plus graves : déshydratation des nourrissons, formes septiques ...

La survenue d'épidémies dans les collectivités où ces populations sensibles sont nombreuses (crèches, écoles, hôpitaux..) joue souvent un rôle de sentinelle et d'alerte des autorités. [48]

La documentation épidémiologique dans le domaine des infections d'origine hydrique est obtenue presque exclusivement par l'enregistrement des événements épidémiologiques (statistiques épidémiologiques).

En France, ce rôle est dévolu à la Direction Générale de la Santé (DGS) qui rassemble les données en provenance des DDASS. Les informations sont rares et le bulletin épidémiologique hebdomadaire publié par la DGS relate exceptionnellement les épidémies et ne publie jamais de statistiques à ce propos. Il est donc difficile d'évaluer l'impact des contaminations hydriques qui surviennent dans notre pays.

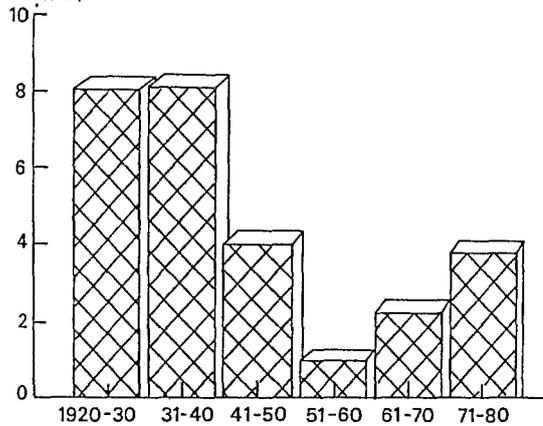
Une étude a permis de recenser en France, entre 1972 et 1980, 33 épidémies d'origine hydrique qui ont atteint plus de 9 000 personnes [9]. Mais pour les raisons évoquées ci-avant, il est très probable que ces chiffres soient en dessous de la réalité.

Cependant, pour avoir une connaissance supposée équivalente de ces événements épidémiologiques en France ou, de façon plus générale, dans les

pays industrialisés, il est possible de se référer aux statistiques épidémiologiques des Etats-Unis, un des rares pays où elles sont relevées avec une certaine régularité.

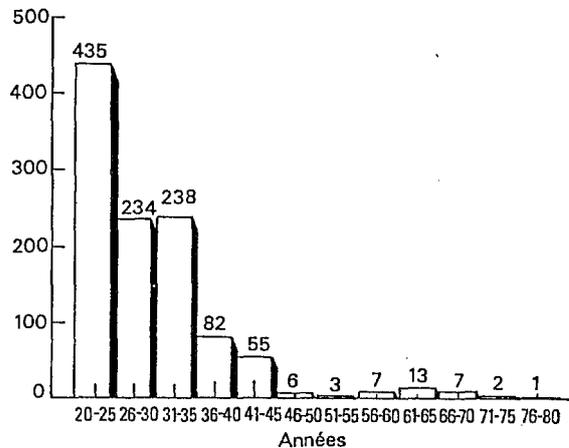
La comparaison des figures suivantes permet de constater que le nombre des maladies annuelles d'origine hydrique a tendance à se maintenir, tandis que le nombre de décès est devenu quasiment nul.

Maladie par 100 000 habitants / an



Incidence des maladies d'origine hydrique aux U.S.A. (1920-1980) (G.F. CRAUN, 1986). [14]

Nombre de morts



Nombre de décès dus aux épidémies hydriques aux U.S.A., de 1920 à 1980 (G.F. CRAUN, 1986). [14]

Dans ce pays, les Centers For Deseases Control recensent annuellement 30 à 50 épidémies liées à l'eau de boisson, ce qui correspond en moyenne à 15 à 20.000 cas de pathologies directement liées à l'eau d'alimentation, dont la moitié est d'origine inconnue. [13, 14, 15, 27]

1.6. Le risque sanitaire : exemples

1.6.1. Le risque épidémique : le cas du Havre [19]

A l'automne 1990, dans la banlieu Est du Havre, 800 cas de gastro-entérites sont apparus en 3 jours. L'agent responsable identifié dans les selles des malades fut *Shigella Sonnei*. Le caractère localisé et soudain d'apparition des cas laissa soupçonner une origine hydrique.

En effet, l'enquête menée par la DDASS de Seine-Normandie mît en évidence une contamination bactérienne du forage et de la source alimentant le réseau d'eau potable, ainsi qu'une défaillance de l'appareil de chloration, réglé sur un dosage très faible en désinfectant.

Vingt-deux personnes furent hospitalisées et il fut déploré le décès d'un malade initialement fragile.

1.6.2. Le risque chronique : enquête menée par le CAREPS* dans le massif Alpin (Isère, Savoie, Haute-Savoie) [68]

Une enquête épidémiologique a été conduite en 1983 et 1984 dans 50 communes rurales ne disposant pas de traitement de désinfection de l'eau, afin d'évaluer les risques digestifs liés à la consommation d'eau de boisson non conforme aux normes microbiologiques de potabilité. Il existe en effet en France un certain nombre de communes, essentiellement rurales, alimentées par une eau non traitée ne respectant pas toujours les normes de potabilité.

Les résultats de l'enquête permettent de conclure que les cas de gastro-entérites sont 2 fois plus nombreux dans les communes desservant une eau fréquemment contaminée que dans les communes où l'eau distribuée est conforme aux normes Françaises.

D'autre part, l'incidence de la mauvaise qualité de l'eau sur les populations nouvellement implantées est accrue par rapport aux populations résidentes. Cela traduit un phénomène d'accoutumance chez les personnes "habituées" à consommer une eau de mauvaise qualité.

* Centre Alpin de Recherche Epidémiologique et de Prévention Sanitaire

2. ORIGINE DES CONTAMINATIONS

Dans le cas des maladies hydriques, les agents contamineurs proviennent essentiellement du tube digestif de l'homme et de l'animal, et sont rejetés principalement par les matières fécales, plus rarement par les urines. Il convient donc de souligner l'importance du rôle des excréments dans la transmission des maladies liées à la consommation d'eau.

De ce fait, les eaux usées constituent le 1^{er} maillon d'un cycle au centre duquel se trouve l'homme en tant que contamineur primaire, par ses selles, mais aussi en tant que récepteur secondaire des agents pathogènes véhiculés par l'eau.

Avant d'arriver au robinet du consommateur, l'eau suit un long cheminement. Extraite d'une ressource, elle peut être traitée, stockée dans des réservoirs avant d'être distribuée par l'intermédiaire d'un réseau de canalisations d'importance et de qualité variable.

Les risques de contamination microbiologique tout au long de ce cheminement sont les suivants :

- au niveau de la ressource :

Risque de pollution chronique ou accidentelle de la ressource par les activités humaines, industrielles ou agricoles (déjections animales), favorisée par la vulnérabilité de certains aquifères.

- au niveau du réseau :

- absence ou défaillance des installations de désinfection

- pollution de l'eau dans le réseau de distribution par un égout à l'occasion de fuites, de siphonnages d'eaux usées en retour vers les eaux potables.

- mauvaise conception ou manque d'entretien des ouvrages de captage, de stockage ou de distribution d'eau.

3. PROTECTION DES RESSOURCES

Pour conserver ou améliorer la qualité des eaux, des mesures particulières doivent être prises au niveau des ouvrages de captage. Il s'agit de la mise en place de périmètres de protection.

Les périmètres de protection correspondent à un zonage établi autour des points de prélèvement d'eau. La détermination de ces périmètres repose sur la plus ou moins grande rapidité des relations hydrogéologiques entre les zones d'infiltration des eaux d'une part, et le point de prélèvement à protéger d'autre part.

Leur mise en place s'accompagne d'un certain nombre de servitudes :

- des interdictions
- des limitations d'activités

Trois périmètres sont ainsi définis :

- Le périmètre de protection immédiat : il correspond à l'environnement proche du point d'eau. Il est acquis par la collectivité, clôturé et toute activité y est interdite

- Le périmètre de protection rapproché : il délimite un secteur en général de quelques hectares. Il doit protéger le captage vis-à-vis de la migration sous-terrainne des substances polluantes. A l'intérieur de ce périmètre, toutes les activités susceptibles de provoquer une pollution sont interdites ou soumises à des prescriptions particulières (constructions, rejets, dépôts, épandage...).

- Le périmètre de protection éloigné : facultatif, il correspond à la zone d'alimentation du point d'eau, voire à l'ensemble du bassin versant. Les interdictions et limitations portent sur les activités qui présentent un risque de pollution ou qui peuvent donner lieu à des déversements.

Le Code la Santé Publique stipule que tout projet de captage doit être autorisé par un arrêté préfectoral qui définit les périmètres de protection des ouvrages.

4. SURVEILLANCE MICROBIOLOGIQUE DES EAUX DE BOISSON

La surveillance microbiologique a pour but de s'assurer qu'au moment de son utilisation, l'eau ne contient pas de micro-organismes pathogènes.

4.1. Principe du contrôle

4.1.1. Les indicateurs bactériens

Il est théoriquement, techniquement et financièrement impossible de rechercher dans l'eau de boisson tous les micro-organismes susceptibles d'engendrer des infections.

C'est pourquoi les hygiénistes ont dû recourir à des méthodes indirectes pour évaluer la contamination des eaux. Ces méthodes reposent sur le fait que la grande majorité des germes pathogènes véhiculés par l'eau est d'origine fécale. La détection d'une contamination fécale des eaux constitue donc un excellent signal d'alarme.

Une telle contamination fécale peut être décelée par la présence de germes qui sont, de façon exclusive ou générale, des hôtes permanents des intestins de l'homme ou des animaux à sang chaud. Ces germes sont appelés "**germes-test** " ou "**germes témoins de contamination fécale**" ou encore "**indicateurs bactériens**". Leur présence dans l'eau de consommation signe donc l'existence d'une chaîne de contamination entre des matières fécales et l'eau. L'existence de cette chaîne fait courir le risque d'un possible passage de germes pathogènes pouvant eux, provoquer des infections.

Les bactéries indicatrices doivent posséder de nombreuses qualités pour jouer pleinement leur rôle ; en particulier, elles doivent être :

- présentes dans les eaux en même temps que les germes pathogènes
- faciles et rapides à détecter et à identifier, pour un coût modéré
- non pathogènes

- analogues aux pathogènes quant à leur comportement dans les eaux et leur résistance aux traitements physico-chimiques (sédimentation, filtration, désinfection...). Cette particularité permettra notamment d'évaluer l'efficacité des traitements subis par l'eau vis-à-vis de ces micro-organismes.

Les germes-test actuellement recherchés en routine en France sont :

- 1- les germes aérobies
- 2- les coliformes
- 3- les streptocoques fécaux
- 4- les spores de clostridium sulfito-réducteurs

La numération totale des germes aérobies n'est pas spécifique d'une contamination fécale. D'où qu'elle provienne, l'eau contient toujours un certain nombre de micro-organismes qui constituent sa "flore spécifique" , inoffensive pour la santé. Ce qui importe, ce sont les éventuelles variations de cette population, déterminées dans des conditions climatiques différentes.

Ainsi, des fluctuations importantes du nombre de bactéries aérobies signifient que la ressource est mal isolée de l'environnement et qu'elle se contamine par infiltration d'eaux superficielles.

Cette numération permet également d'apprécier la détérioration de la qualité de l'eau dans les réseaux.

Il convient donc de surveiller l'évolution de la flore bactérienne de l'eau et non pas de considérer le résultat d'une seule analyse.

Les coliformes constituent un rassemblement assez hétéroclite d'espèces bactériennes appartenant à la famille des entérobacteriaceae. L'étude de ces coliformes est intéressante à 2 points de vue :

- 1 - un très grand nombre de coliformes vivent en abondance dans les selles des animaux à sang chaud
- 2 - leur résistance aux agents antiseptiques est voisine de celle des bactéries pathogènes.

Pratiquement tous les coliformes peuvent exister dans les matières fécales des hommes et des animaux à sang chaud. Cependant, alors que certains sont également des hôtes du sol et des eaux, d'autres ne peuvent

vivent que dans le seul habitat fécal. La présence de ces derniers est la preuve que l'eau a subi une contamination fécale, alors que la présence des autres n'est pas obligatoirement liée à une telle pollution.

Les coliformes qui vivent dans l'intestin acquièrent des propriétés spéciales, caractéristiques de cet habitat ; parmi celles-ci, une meilleure résistance aux températures de culture. Cela leur permet de pousser à 44° C et leur vaut le qualificatif de "thermotolérants".

Parmi ces coliformes thermotolérants, *Escherichia Coli* représente le type même de germes à habitat fécal exclusif. Il constitue actuellement le meilleur indicateur de contamination fécale pour les eaux n'ayant pas subi de traitement. Nous verrons ultérieurement qu'il n'en n'est pas de même dans le cas des eaux traitées.

On désigne par streptocoques fécaux les streptocoques qui possèdent l'antigène du groupe D de LANCEFIELD. La plupart sont des germes exclusifs de l'intestin de l'homme ou des animaux à sang chaud, quelques uns sont ubiquistes*. Cette absence de spécificité pour une partie des espèces de streptocoques implique de coupler leur recherche à celle des coliformes thermotolérants qui permet, elle, d'affirmer l'existence d'une contamination fécale.

Les streptocoques du groupe D présentent l'intérêt d'être très résistants et donc plus durables, ce qui permet de détecter une contamination ancienne. Leur résistance aux agents désinfectants pourraient être comparable, selon certains, à celle des virus, ce qui leur permettrait de mieux représenter une contamination virale dans le cas des eaux traitées.

Enfin, parmi les espèces fécales, il existe une relative spécificité d'habitat qui peut être mise à profit pour déterminer l'origine des contaminations. On sait en effet que *Streptococcus Faecalis* est prédominant dans l'intestin humain, tandis que *Streptococcus Faecium* est plus abondant chez le bétail (mouton).

* présents dans différents milieux : l'eau, l'air, le sol...

Les Clostridium ne sont pas des hôtes exclusifs de l'intestin de l'homme, ils se trouvent également dans l'environnement tellurique. D'autre part, les spores de *clostridium* ne peuvent pratiquement pas être enlevées par la chloration, et il faut pour le faire recourir à la filtration. C'est pourquoi leur présence ne doit pas être considérée comme un témoin de contamination fécale, mais comme une insuffisance de la filtration naturelle des sols ou de la filtration sur sable, dans le cadre d'une usine de traitement.

Quand toutes ces spores ont été éliminées, cela signifie que tous les germes de taille analogue et plus grands ont été éliminés, notamment certains parasites. [1]

4.1.2. Fréquence des contrôles

La fréquence annuelle des contrôles à effectuer est établie pour chaque collectivité par la DDASS, en application du décret modifié du 3 janvier 1989, dont une partie est présentée en annexe. La fréquence est fonction du débit de la ressource, de la population desservie et de la présence ou de l'absence d'un procédé de traitement. Des prélèvements sont pratiqués aux points de captage, dans les stations de traitement, aux réservoirs et au robinet de l'utilisateur.

Le tableau suivant indique la fréquence des prélèvements à effectuer chaque année dans l'eau des réseaux de distribution selon la population desservie.

Fréquence annuelle d'analyses en distribution.

population desservie	Eau non désinfectée	Eau désinfectée
500 habitants	2	4
2 000 habitants	6	
5 000 habitants	12	
10 000 habitants	24	24
30 000 habitants	60	
50 000 habitants	90	
100 000 habitants	150	240
150 000 habitants	210	
300 000 habitants	390	720

Il est à remarquer que le nombre d'analyses annuelles est très faible dans les petites collectivités. Cette fréquence trop faible des prélèvements en milieu rural

n'assure pas que l'eau distribuée soit de bonne qualité tout au long de l'année, même si les prélèvements sont conformes aux normes. [10]

4.1.3. Les responsables

- **Le Préfet**, représenté par le Directeur de la DDASS.

La Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales est chargée d'établir des programmes de surveillance analytique propres à chaque collectivité. L'établissement de ces programmes repose sur l'application du décret du 3 janvier 1989. La DDASS effectue également le contrôle sanitaire des installations de production et de distribution.

- **Le Maire, le Président du syndicat**

Responsable de la distribution des eaux, il prend toutes les mesures pour délivrer une eau conforme aux normes en vigueur.

Il est tenu de vérifier la qualité de l'eau (article L 21 du code de la santé publique) et il en supporte la charge financière (frais d'analyses et de prélèvements) [44].

Il tient à la disposition du Directeur Départemental des Affaires Sanitaires et Sociales les résultats des vérifications qu'il a opérées, ainsi que les autres informations en relation avec la qualité de l'eau.

En cas d'incident ou de résultats analytiques non conformes, il doit en informer le Directeur de la DDASS.

En cas d'affermage, ces responsabilités sont exercées conjointement avec l'exploitant.

Seules quelques sociétés fermières réalisent concrètement des analyses complémentaires à celles de la DDASS. Cela n'est guère envisageable, pour des questions de moyens, lorsque l'exploitant est une petite commune ou un petit syndicat intercommunal. Dans ces cas, les seules analyses pratiquées sont celles programmées par la DDASS et effectuées par le Laboratoire Départemental des Eaux.

- Le Laboratoire Agréé Départemental

Il effectue les analyses en application du programme, selon des méthodes de références normalisées. Il commente les résultats obtenus pour les paramètres recherchés par rapport aux normes de potabilité en vigueur.

4.2. Les normes microbiologiques

Elles sont fixées par le décret modifié du 3 janvier 1989 qui prévoit que :

1- L'eau ne doit pas contenir d'organismes pathogènes, en particulier des Salmonelles dans 5 litres d'eau prélevée, de Staphylocoques pathogènes dans 100 ml d'eau prélevée, de bactériophages fécaux dans 50 ml d'eau prélevée et d'entérovirus dans un volume ramené à 10 litres d'eau prélevée.

2 - 95 % au moins des échantillons prélevés ne doivent pas contenir de coliformes fécaux, dans 100 ml d'eau prélevée.

3 - L'eau ne doit pas contenir de coliformes thermotolérants et de streptocoques fécaux, dans 100 ml d'eau prélevée.

4 - L'eau ne doit pas contenir plus de une spore de bactérie anaérobie sulfato-réductrice par 20 ml d'eau prélevée

Si les grandes maladies d'origines hydriques ont aujourd'hui disparu des pays développés, elles ont cédé la place à des pathologies bénignes qui sévissent sous formes d'épidémies. L'incidence des virus dans la survenue de ces maladies semble être prédominante.

L'eau en tant que réservoir et véhicule d'agents pathogènes demeure donc une réalité de nos jours.

En outre, il ne faut pas oublier qu'il existe de par le monde de nombreux foyers d'infection exportables grâce à la rapidité des transports, et qu'un seul individu infecté peut en contaminer des centaines d'autres par l'intermédiaire de ses selles, si un contact accidentel survient entre les eaux usées les contenant et l'eau potable.

Par ailleurs, la recherche des germes-test de contamination fécale sur laquelle est basé le contrôle de la potabilité microbiologique de l'eau ne constitue qu'un contrôle rétrospectif et non pas préventif, car trop tardif pour permettre d'intervenir et d'éviter les risques. En effet, les consommateurs ont déjà ingéré l'eau polluée et potentiellement dangereuse lorsque une contamination est détectée.

C'est pourquoi des traitements de désinfection sont mis en place, dans l'intention première d'assurer, en toutes circonstances, l'innocuité microbiologique de l'eau distribuée.

La désinfection par le chlore permet-elle de répondre à cette attente ?

DEUXIEME PARTIE :
LA DESINFECTION PAR LE CHLORE
DES EAUX DESTINEES A LA CONSOMMATION HUMAINE.

La première mesure à prendre en vue d'assurer la salubrité d'une eau de consommation est de protéger la ressource de toute contamination. Quand cela n'est pas possible (ressources superficielles), ou ne peut donner de résultats fiables de façon continue, une désinfection s'avère alors nécessaire.

Ce n'est pas une "stérilisation", c'est pourquoi il peut subsister dans l'eau quelques germes dits "banaux", inoffensifs pour la santé du consommateur.

La désinfection des eaux comporte deux étapes importantes correspondant à deux effets différents d'un désinfectant donné :

-l'effet bactéricide = capacité à détruire les germes

-l'effet rémanent = propriété d'un désinfectant de persister dans l'eau un certain temps après son introduction

Les moyens de désinfection les plus couramment utilisés sont l'ozone, les rayonnements ultra-violet, le chlore et le bioxyde de chlore. Tous ne possèdent pas des performances équivalentes dans les 2 domaines précités : absence ou présence d'effet rémanent, pouvoir bactéricide plus ou moins élevé. En l'occurrence, seuls le chlore et le bioxyde de chlore sont dotés d'un pouvoir rémanent.

Le chlore a été et reste encore le désinfectant le plus utilisé dans la plupart des pays (80 % de la désinfection dans le monde), malgré un engouement croissant pour les rayons ultra-violet qui ont l'avantage de ne pas conférer de goût et d'odeur à l'eau traitée.

Cette prédominance du chlore dans l'arsenal de la désinfection provient essentiellement du fait qu'il est facilement disponible, rémanent, peu coûteux, aisé à manipuler et à mesurer.

1. LES PRODUITS UTILISES POUR LA DESINFECTION PAR LE CHLORE

Les produits disponibles pour réaliser la désinfection par le chlore sont :

- le **chlore gazeux** (Cl_2)
- l'**hypochlorite de sodium** ou "**eau de Javel**" (NaClO)
- l'**hypochlorite de calcium** ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$)
- le **bioxyde de chlore** (ClO_2)

Les deux premières formes sont de très loin les plus utilisées, le chlore gazeux étant la forme la plus économique, l'eau de Javel la plus simple à mettre en oeuvre et moins dangereuse à manipuler.

1.1. Le chlore gazeux

Le chlore est un gaz jaune, plus lourd que l'air et soluble dans l'eau. Il est commercialisé sous forme liquéfiée, dans des récipients en acier (bouteilles ou tanks). C'est un gaz corrosif et très toxique : il présente des risques mortels d'intoxication par inhalation, ingestion ou contact avec la peau. C'est pourquoi son utilisation suscite parfois une réticence de la part des exploitants.

1.2. Les hypochlorites de sodium et de calcium

L'hypochlorite de sodium (NaClO) est une solution de couleur jaune, titrant 130 à 150 g de chlore actif par litre, et plus couramment dénommée "**eau de Javel**". Les solutions et extraits de Javel sont nettement basiques et ont un caractère oxydant.

La concentration en chlore d'une solution d'eau de Javel est exprimée en degrés chlorométriques, un degré étant égal à une concentration de chlore de 3,17 g/l. Les titres des solutions et extraits de Javel couramment rencontrés sont les suivantes :

- berlingots du commerce: 48 ° chlorométriques, soit 150 g de chlore par litre de solution
- bouteilles plastiques du commerce : 12° à 18° chlorométriques
- eau de Javel industrielle : 48° chlorométriques.

L'eau de Javel est utilisée soit pure (extraits à 48° chl.), soit diluée. Dans ce cas, l'eau de dilution ne doit pas être trop dure afin d'éviter le phénomène de cristallisation de l'hypochlorite au contact du calcium de l'eau ; ce phénomène est à l'origine des problèmes d'entartrage.

L'hypochlorite de calcium ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) est une poudre blanche très soluble dans l'eau, présentée telle quelle ou sous forme de granulés ou galets. Elle doit être mise en solution avant son injection.

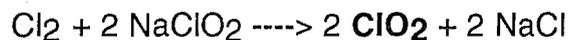
La forme poudre se conserve bien et est fortement concentrée en éléments actifs. C'est le réactif de choix lorsque l'on doit exporter le désinfectant.

1.3. Le bioxyde de chlore

C'est un gaz jaune-verdâtre, fortement oxydant (2,63 fois plus que le chlore), instable à des concentrations supérieures à 10 % dans l'air [4]. C'est pourquoi il est utilisé en solution aqueuse, préparée immédiatement avant usage sur le lieu d'utilisation.

Il peut s'obtenir de différentes façons :

- par action du chlore sur le chlorite de sodium :



Ce procédé nécessite le stockage de 2 produits dangereux : le chlore gazeux et le chlorite de sodium.

- par action de HCl sur le chlorite de sodium:



Le bioxyde de chlore a des propriétés bactéricides, sporicides et virulicides qui sont dans la plupart des cas supérieures à celles du chlore [7], et ce dans une gamme de pH plus large. Mais son utilisation est plus complexe et son coût de revient supérieur. De plus, sa décomposition spontanée et sa réduction entraînent la formation de chlorites toxiques.

C'est principalement pour ces raisons que ce désinfectant, malgré ses supériorités en tant qu'oxydant et désinfectant, n'a pas détrôné le chlore gazeux et l'eau de Javel, auxquels la suite de cette étude est consacrée.

2. ASPECT CHIMIQUE DE LA CHLORATION

Lorsque du chlore est introduit dans l'eau, différentes réactions chimiques vont successivement se produire :

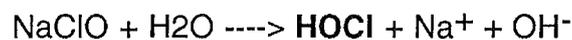
2.1. Réaction du chlore dans l'eau

Le chlore gazeux et l'hypochlorite réagissent rapidement dans l'eau pour former de l'acide hypochloreux, **HOCl**, qui est le produit actif de la désinfection.

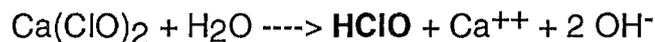
* Réaction du chlore gazeux :



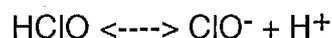
* Réaction de l'hypochlorite de sodium ("eau de javel") :



* Réaction de l'hypochlorite de calcium :



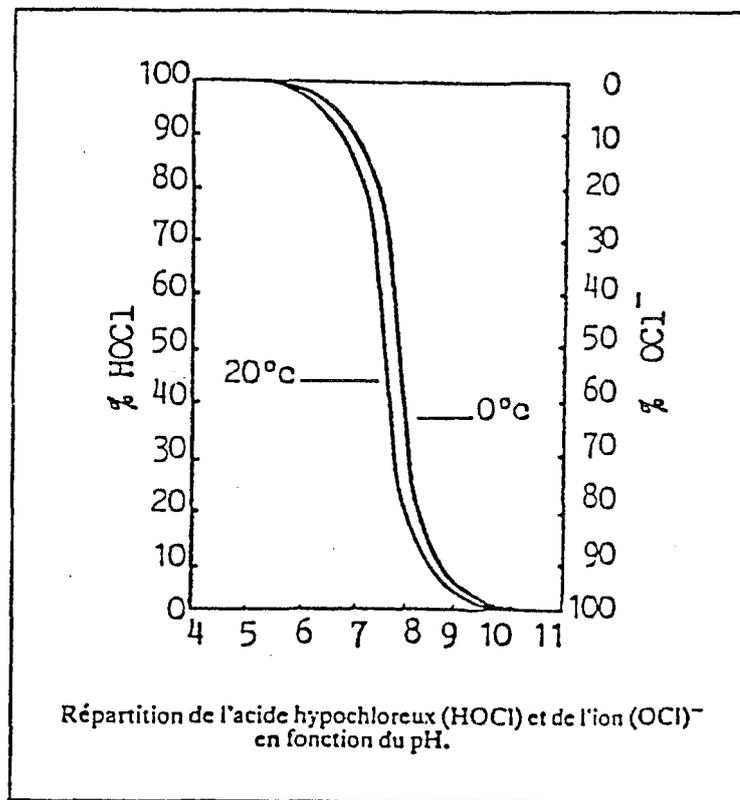
L'acide hypochloreux est donc responsable de l'effet désinfectant sur les germes. C'est un acide faible qui se dissocie selon la réaction :



L'ion ClO^- a une action désinfectante environ **100 fois moins forte** que celle de HOCl . Cela s'explique par le fait que la membrane cytoplasmique des

bactéries, qui est constituée de lipoprotéines, est électriquement neutre. Or, la facilité pour une substance chimique de franchir cette membrane est d'autant plus grande que la substance en question est petite et non porteuse de charges électriques. C'est le cas de l'acide hypochloreux (HOCl), mais pas de l'ion hypochloreux (ClO^-) qui est chargé négativement.

Par conséquent, cette réaction de dissociation va être influencée par le pH de l'eau. Ainsi, plus le pH est élevé, moins il y a de chlore actif. La figure suivante donne les proportions relatives de l'acide et de l'ion en fonction du pH.



Les eaux naturelles ont un pH compris entre 5 et 9 ; le chlore se trouvera donc sous forme d'un mélange d'acide hypochloreux et d'ions hypochlorites ; ce mélange est appelé " **chlore libre** ". On conçoit par conséquent, que l'efficacité d'une désinfection soit en relation avec le pH de l'eau traitée et qu'elle soit optimale pour des pH peu élevés (compris entre 4 et 6).

2.2. Réaction avec les substances chimiques présentes dans l'eau.

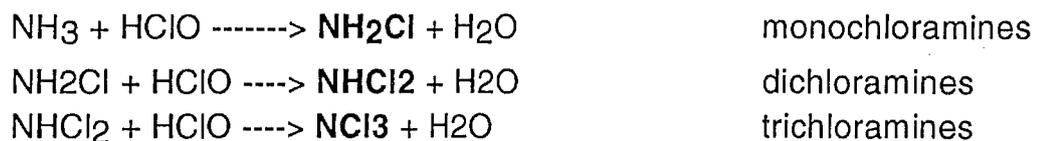
Les eaux brutes contiennent fréquemment des substances chimiques susceptibles de réagir avec le chlore libre (HClO et ClO⁻) : substances réductrices, substances azotées, produits azotés minéraux (ammoniaque, nitrites, nitrates...).

Que se passe-t-il en présence de ces substances ?

* Les composés réducteurs tels que le fer ferreux, l'ion nitrite, les sulfures, réagissent très rapidement avec les premières fractions de chlore ajoutées pour former des produits oxydés et des chlorures dont les pouvoirs germicides sont nuls. Cette dose de chlore injectée, indisponible pour agir sur les micro-organismes, constitue une partie de la **demande immédiate en chlore**.

* Les composés azotés, organiques ou minéraux, donnent par combinaison avec le chlore libre des produits suffisamment oxydants pour conserver un pouvoir désinfectant. Ces produits sont appelés "**chloramines**" et constituent le "**chlore combiné**". Elles ont la particularité d'être fortement sapides et d'être détruites par un excès de chlore.

- Les combinaisons du chlore avec les composés azotés minéraux (azote ammoniacal) portent le nom de "**chloramines minérales**", dont seule une d'entre elles, la monochloramine, est utilisée industriellement pour la désinfection des eaux. Leur formation suit les équations suivantes :

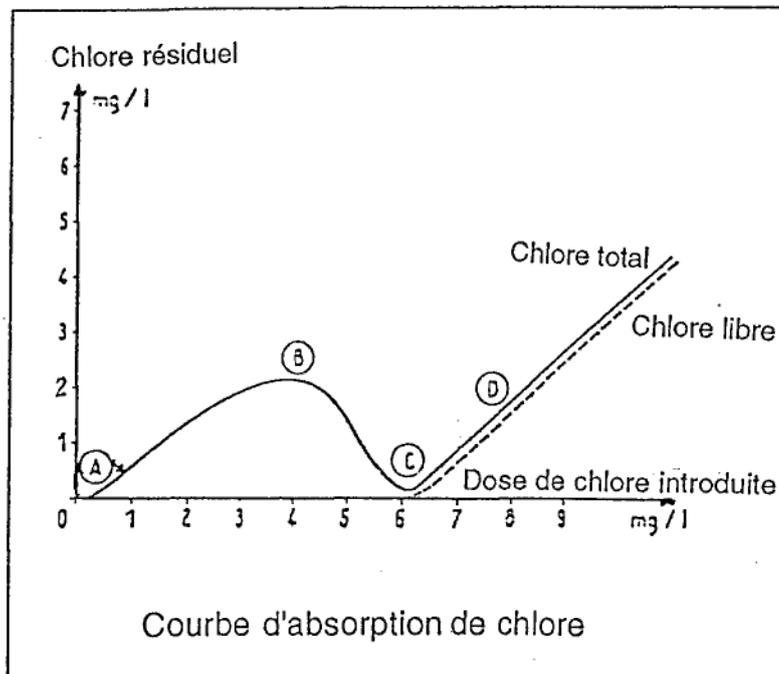


- Les combinaisons du chlore avec certains composés azotés organiques (amines, urée, substances humiques, acides aminés...) donnent les "**chloramines organiques**".

Toutes ces réactions chimiques (formation de chloramines, oxydation du fer ou des sulfures...) vont entraîner une surconsommation de désinfectant par rapport à la dose strictement nécessaire pour éliminer les germes.

Si la dose de chlore appliquée est faible, il risque de ne plus subsister suffisamment de chlore libre pour la destruction des germes.

La figure suivante représente la courbe de demande en chlore d'une eau contenant de l'azote ammoniacal.



- OA : demande immédiate de chlore
 AB : formation des chloramines
 BC : oxydation (destruction) des chloramines
 D : apparition du chlore libre

Le point C est appelé point-critique ou break-point, ou encore point de remontée. On doit donc éviter les concentrations de chlore dont l'effet est représenté par la partie de la courbe située entre A et C, car on observe dans cette partie :

- la présence de chloramines, sapides
- l'absence de chlore libre

Il faudra donc injecter suffisamment de chlore, au delà du point critique, si l'on veut avoir une concentration en chlore résiduel actif suffisante.

2.3. Réactions d'oxydation annexes

2.3.1. Formation de trihalométhanes (T.H.M.)

Lors de la chloration à forte dose d'une eau brute contenant des précurseurs organiques (composés organiques d'origine naturelle comme les acides humiques ou d'origine industrielle comme les pesticides), il se forme des composés organo-chlorés, parmi lesquels figurent les halométhanes. Ce sont des composés volatiles du chlore et du méthane, dont le plus connu est le chloroforme.

Découverts en 1974, leur présence fut jugée inquiétante pour deux raisons principales :

- des expériences ont montré que le chloroforme était cancérogène chez le rat,
- 80 % des composés organochlorés sont encore non identifiés et parmi eux, il est à craindre qu'il en existe d'au moins aussi toxiques que le chloroforme.

Mais les doses de chloroforme administrées aux rats lors des essais de carcinogénèse sont très élevées par rapport aux quantités détectées dans les eaux de boisson .

Les résultats de différentes études engagées à ce jour ne permettent pas de déterminer si la chloration de l'eau présente ou non un danger réel pour les consommateurs.

Ainsi, certaines études ont décelé de très faibles associations statistiques avec les cancers de l'estomac, du gros intestin, du rectum ou du pancréas ; mais par la suite, une évaluation de ces études par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a conduit à la conclusion qu'il n'était pas possible d'affirmer que la consommation d'eau de boisson chlorée pouvait induire des cancers.

Plusieurs études épidémiologiques ont tenté de montrer des possibilités de corrélation entre eau chlorée et cancer de la vessie. Des associations dont le

poids reste faible ont été signalées, mais aucune relation causale n'a pu être mise en évidence. [5]

Enfin, des essais d'ingestion d'eau fortement chlorée ou chloraminée, par des souris, n'ont pas décelé une quelconque tendance du chlore à induire des cellules cancéreuses. [16]

Tout cela a parfois conduit au remplacement du chlore par d'autres désinfectants tels que l'ozone ou le bioxyde de chlore, mais l'on s'est aperçu par la suite que ces produits engendraient eux aussi des sous-produits présentant des risques à long terme.

2.3.2. Réactions à l'origine de goûts et d'odeurs

L'un des inconvénients majeur de la chloration réside dans la survenue de "goûts et d'odeurs de chlore", mal acceptés par les consommateurs Français. Ces désagréments résultent de la formation excessive de chloramines lors du traitement par le chlore d'une eau riche en matières organiques. Ils peuvent également provenir d'un taux de chlore libre résiduel excessif, supérieur à 0,4 mg/l.[42]

Le goût de chlore est en France le deuxième motif de plaintes, après le calcaire et avant la turbidité*, et conduit à un comportement paradoxal : les consommateurs se détournent parfois de l'eau distribuée chlorée au profit de sources particulières non traitées (puits privés, sources sauvages) qui ne respectent pas toujours les normes sanitaires [2, 11] Cette aversion est à l'origine d'une réticence de certaines collectivités à installer une structure de traitement, et contribue enfin au succès d'autres procédés de désinfection ne procurant ni odeurs ni saveurs .

Signalons qu'aux Etats-Unis, le goût de chlore est très bien accepté par les consommateurs, car il est perçu comme la garantie de l'inocuité de l'eau.

* eau trouble

3. ACTIVITE DESINFECTANTE DU CHLORE

3.1. Paramètres de la désinfection

3.1.1. Paramètres influençant l'efficacité du chlore

L'efficacité biocide du chlore dépend de la prise en compte d'un certain nombre de facteurs qui influencent la quantité de chlore nécessaire à une bonne désinfection :

- température et pH

L'efficacité du chlore est plus grande lorsque la température ou le pH de l'eau sont peu élevés.

- temps de contact entre les germes et le désinfectant

C'est le temps qui s'écoule entre l'injection du chlore et la consommation de l'eau. Les quantités de chlore nécessaires à la désinfection sont d'autant plus faibles que le temps de contact est important.

- turbidité

Les paramètres générateurs de turbidité (matières en suspension, colloïdes) nuisent à l'efficacité de la chloration : ils sont consommateurs de chlore et protègent les germes contre son action désinfectante [32] ; c'est pourquoi il est important de réduire le plus possible la turbidité de l'eau à désinfecter, au moyen de traitements préalables (coagulation, sédimentation, filtration...).

Si de tels traitements ne sont pas ou ne peuvent pas être mis en place, ou sont mis en défaut à un instant donné, un surdosage de chlore permettra d'obtenir une désinfection correcte, mais avec comme conséquence l'apparition de sous-produits.

Sur un plan général, la désinfection sera optimale lorsque les paramètres énoncés ci-dessous seront respectés :

<u>turbidité</u>	<u>< 0,5 NTU</u>
<u>pH</u>	<u>< 8</u>
<u>temps de contact</u>	<u>> 30 min</u>

Les composés azotés et la matière organique que contient l'eau en plus ou moins grande quantité sont également d'importants consommateurs de chlore (se reporter à la page 38) Il est donc préférable de réduire leur concentration avant de désinfecter l'eau.

Enfin, le nombre de micro-organismes présents dans l'eau influence l'efficacité de la chloration. A ce propos, la réglementation Française prévoit un nombre maximum de germes tolérables au niveau de l'eau brute, considérant que l'on ne peut garantir une désinfection satisfaisante à partir d'une eau de n'importe quelle qualité microbiologique.

Cette réglementation concerne également une vingtaine de paramètres physico-chimiques (voir annexe 1)

Une désinfection par le chlore est donc d'autant plus efficace que l'eau traitée est de bonne qualité, et les désagréments de la chloration tels que goûts, odeurs, composés secondaires seront d'autant plus limités.

3.1.2. Notion de C.T

Une désinfection efficace s'obtient en respectant des conditions interdépendantes de concentration en chlore et de temps de contact entre le désinfectant et l'eau.

La mise en oeuvre se fait souvent en respectant les conditions suivantes :

	Concentration en chlore libre résiduel (mg/l)	Temps de contact
Action bactéricide	0,2	10 à 15 mn
Action virulicide	0,3 à 0,5	30 à 45 mn

L'efficacité biocide d'un désinfectant vis-à-vis d'un germe donné peut s'exprimer au moyen d'une équation basée sur la concentration en chlore (C) et le temps de contact (T) nécessaire pour inactiver un certain pourcentage de ce germe (par exemple 99 %).

Cette équation est :

$$C.T = K$$

dans laquelle K est une constante pour un micro-organisme donné et traduit sa sensibilité au chlore. Plus la valeur $C.T$ est faible, plus facile est l'inactivation du germe par le chlore. Au contraire, une valeur élevée signifie que la concentration et/ou le temps de contact requis sont importants.

3.1.3. Chloration résiduelle

Il est admis que pour assurer la qualité microbiologique de l'eau distribuée, il faut introduire suffisamment de chlore pour qu'il en reste un léger excès dans l'eau après qu'une partie de ce chlore ait été utilisée pour la destruction des germes et pour l'oxydation des matières organiques ou minérales (se reporter au chapitre 2 de cette partie). En effet, au delà du faible pouvoir bactéricide conféré à une telle eau, le fait de retrouver du chlore dans le réseau prouve qu'il n'y a pas eu d'introduction de matière organique consommatrice de chlore et donc, probablement, d'introduction de microbes après le traitement. Par contre, la disparition imprévue du résiduel doit amener les responsables à prendre des mesures d'urgence.

La réglementation Française prévoit que :

- à l'aval du traitement (réservoir, bêche), le taux de chlore résiduel doit être compris entre 0,2 et 0,5 mg/l, après une durée de contact minimale de 15 minutes.
- sur le réseau de distribution, en fonctionnement normal, la teneur ne devrait pas dépasser 0,1 mg/l.

3.2. Mécanisme d'inactivation des micro-organismes

3.2.1. Mécanisme d'inactivation des bactéries

Les recherches visant à expliquer le mécanisme d'action du chlore sur les bactéries aboutissent à des résultats divergents.

Ainsi, Venkobachar et al. concluent que le chlore agit en oxydant les enzymes de la respiration (aldolases et diverses deshydrogénases) [65].

Mais Mc Feters et Camper expliquent que cette oxydation n'est réalisable qu'in vitro, sur des extraits enzymatiques, et non sur des bactéries entières et vivantes [38].

Pour Haas et Engelbrecht, le chlore provoquerait l'inhibition de la synthèse protéique, suite à l'oxydation des enzymes impliquées. Ces mêmes chercheurs ont étudié la diminution de la synthèse de l'ADN par la chloration [26].

Enfin, Greene et Stumpf énoncent que le chlore interviendrait en empêchant l'oxydation du glucose par l'inhibition d'une enzyme : la triosephosphate deshydrogénase.

3.2.2. mécanisme d'inactivation des virus

Comme pour les bactéries, le mécanisme d'inactivation des virus par le chlore demeure mal connu.

La modification de l'acide nucléique du virus semble être la transformation dont les conséquences sont les plus importantes pour l'inactivation du virus [22]. Calvert Churn et al. ont signalé que le chlore provoquait l'augmentation de la perméabilité de la capsid virale par modification des protéines qui la composent [4].

Le chlore diminuerait également, mais de façon secondaire, le pouvoir de fixation des virions sur les cellules. Cela serait valable pour le chlore mais aussi pour l'ozone [54] et le bioxyde de chlore [28].

3.2.3. Mécanisme d'inactivation des protozoaires

Les phénomènes sont peu connus car ils n'ont été que très rarement étudiés.

Chang a remarqué que les kystes inactivés d'*Entamoeba Hystolitica* présentaient des altérations au niveau de leur noyau et ces détériorations pourraient provenir de la pénétration de l'acide hypochloreux [6].

Par ailleurs, Derreumaux a observé que les formes végétatives des amibes libres appartenant au genre *Naegleria* étaient complètement lysées lorsque l'on appliquait des doses de chlore suffisamment importantes. [18]

3.3. Sensibilité des germes à la chloration

Tous les germes ne possèdent pas une sensibilité identique vis-à-vis du chlore.

Tandis que certains sont instantanément inactivés par de faibles concentrations en chlore, d'autres sont très résistants, et les doses nécessaires à leur destruction sont parfois considérables.

Très schématiquement, les bactéries sont plus sensibles à la chloration que les virus, lesquels sont moins résistants que les kystes de protozoaires pathogènes tels que *Giardia* ou *Cryptosporidium*.

Le tableau suivant, qui donne les valeurs de C.T pour une espèce bactérienne (*E.Coli*), une espèce virale (*Poliovirus 1*) et 2 espèces de parasites (*Entamoeba Hystolitica* et *Giardia Lamblia*) va dans le sens de cette équation.

Micro-organismes	Chlore libre	pH	Température (°C)	Concentration (mg/l)	Temps de contact (min)	C.T
E. Coli	HOCl	6	5	0,1	0,4	0,04
	OCl ⁻	10	5	1	0,92	0,92
Poliovirus 1	HOCl	6	5	0,5	2,1	1,05
	OCl ⁻	10	5	0,5	21	10,5
Entamoeba histolytica (kystes)	HOCl	6	5	5	18	90
Giardia lamblia (kystes)	HOCl	6	5	2	40	80

On constate qu'une concentration de 0,1 mg/l de chlore libre permet d'inactiver *E. Coli* en une fraction de minute ; il faut par contre 5 fois plus de chlore et un temps de contact de 2 minutes pour inactiver le *Poliovirus 1*, et des valeurs 10 à 20 fois supérieures pour les kystes de parasites.

La teneur maximale en chlore libre résiduelle préconisée par la réglementation Française (à savoir 0,1 mg/l) permettrait d'après ces résultats

d'inactiver les *E.Coli*, mais pas les virus *polio 1* et encore moins les kystes de parasites, s'ils venaient à s'infiltrer à l'intérieur du réseau de distribution.

Certains auteurs estiment qu'une concentration de 8 à 10 mg/l est nécessaire pour détruire *Entamoeba Hystolitica*, responsable de la dysenterie amibienne.

Baylet et al. , dans une étude sur la résistance au chlore des Salmonelles isolées des eaux d'alimentation [3], montrent qu'une concentration initiale de 0,30 mg/l de chlore libre permet la survie à la 30^{ème} minute de 33,33 % des souches testées, tandis que la teneur en chlore résiduel n'est jamais descendue en dessous de 0,1 mg/l durant ce laps de temps. Au bout de 1 heure de contact, la survie est encore de 4,16 % . L'inactivation des Salmonelles est finalement obtenue :

- à la 60^{ème} minute avec une dose initiale de 0,40 ppm de chlore libre et le maintien d'une teneur résiduelle supérieure ou égale à 0,1 mg/l.
- en moins de 15 minutes avec une dose initiale de 0,50 ppm de chlore libre.

Les Salmonelles apparaissent donc beaucoup plus résistantes au chlore que les *E.Coli* qui servent d'indicateurs.

A ce propos, Sinègre et al. ont retrouvé des Salmonelles dans des échantillons d'eaux traitées par javelisation, alors que ces mêmes échantillons ne renfermaient pas d'indicateurs de contamination fécale [60].

Dans le sens inverse, *Campylobacter Jéjuni* présente une sensibilité au chlore comparable à *E.Coli*, voire même supérieure [39].

La résistance individuelle au chlore des entérovirus a été révélée par le travail de Liu, en 1971 qui portait sur 20 entérovirus humains testés avec de l'eau de la rivière Potomac (USA) [37].

Ce travail montre que des différences de résistance au chlore existent entre les entérovirus, les *Réovirus* étant les plus sensibles et les *Poliovirus* et *Coxsackievirus* les plus résistants. Ces derniers sont inactivés à 99,99 % au bout de 40 minutes par 0,5 mg/l de chlore libre à pH 7,8, tandis que les *réovirus* le sont en 4 minutes.

La plupart des virus testés par Liu manifestent une résistance au chlore environ 10 fois supérieure à celle des entérobactéries. Mais les résultats de Liu sont

basés sur l'extrapolation de données expérimentales au moyen de cinétiques de premier ordre.

C'est une des raisons qui poussa Engelbrecht et ses collaborateurs à entreprendre en 1980 une expérience similaire, afin de vérifier les observations de Liu et obtenir davantage d'informations sur l'incidence du pH lors de l'inactivation des virus [20]. Ils obtinrent les résultats suivants, pour des concentrations en chlore libre de 0,5 mg/l :

temps nécessaire à l'inactivation de différents entérovirus à pH 6 et à pH 10.

Virus	Temps pour 99 % d'inactivation (min)		
	pH 6,0	pH 10,0	Ratio*
Coxsackie A9.....	0,3	1,5	5
Echo 1.....	0,5	96	192
Polio 2	1,2	64	53
Echo 5.....	1,3	27	21
Polio 1.....	2,1	21	10
Coxsackie B5.....	3,4	66	19

Il apparait que :

- tous les virus testés ont une résistance au chlore exacerbée lorsque le pH du milieu est augmenté
- *Polio 2*, *Echo 1* et *Coxsackie B5* sont globalement les plus résistants
- les virus les plus résistants à un pH donné ne sont pas forcément les plus résistants à un autre pH.

Ainsi, *Echo 1* qui est un des plus sensibles à pH 6 devient le plus résistant à pH 10.

Engelbrecht en déduit que le pH exerce non seulement un effet sur les espèces de chlore en présence (HOCl ou ClO⁻), mais aussi directement sur les virus.

Engelbrecht conduisit également une expérience dans des conditions identiques à celles de Liu (température, pH, concentrations en chlore) et observa des sensibilités accrues par rapport à celles constatées par Liu. Cette différence fut attribuée à l'utilisation par Liu d'une eau de rivière partiellement traitée, tandis que Engelbrecht a utilisé pour ses expériences de l'eau distillée. L'eau de la rivière Potomac a sans doute favorisé l'aggrégation des particules virales, ce qui contribue à accroître la résistance au chlore des virus.

Des études ultérieures confirment l'importante résistance des entérovirus et en particulier des *Coxsackievirus*, notamment par rapport aux indicateurs bactériens [30, 50, 31]. Des chercheurs détectent en effet la présence d'entérovirus dans 7 % des échantillons d'eau issus d'usines de fabrication d'eau potable. Des entérovirus infectieux sont encore détectés après un temps de contact de 16 heures avec un résiduel de chlore de 0,1 mg/l. [51]

Le virus de l'Hépatite A est également très résistant. Ainsi, Peterson et al. ont démontré, en injectant à des singes un inoculum contenant le virus, que celui-ci était encore infectant après avoir été traité par chloration [53]. Les inoculums ont été traités pendant des durées variables et à différentes concentrations en chlore. Les résultats consistent à déterminer l'apparition d'une hépatite et/ou d'une séro-conversion chez les singes inoculés ; ils sont présentés dans le tableau suivant :

Concentration en chlore libre (mg/l)	Temps de contact (min)	% d'hépatites développées	% de séroconversion
0	30	100	100
0,5	30	14	29
1	30	8	33
1,5	30	10	10
2	30	0	0
2,5	30	0	0

Un traitement par 0,5 à 1,5 mg/l de chlore libre inactive une partie mais pas la totalité des HAV. En revanche, à partir de 2,0 mg/l, tous les virus sont détruits. Le virus de l'Hépatite A est donc plus résistant que les entérovirus qui sont inactivés par 0,5 mg/l de chlore libre.

L'auteur souligne que ces résultats, obtenus dans des conditions de laboratoire, ne permettent pas de définir les quantités de chlore requises pour inactiver le virus au sein même de l'environnement. En effet, dans des conditions naturelles, les virus échappent en partie à l'action du chlore grâce aux particules en suspension qui favorisent leur aggrégation. [32]

On sait peu de choses en ce qui concerne la résistance des *Cryptosporidium* ; mais les faits qui suivent témoignent d'une certaine résistance de ces parasites à l'action du chlore.

En effet, lors d'une épidémie survenue en 1987 dans la ville de Carrollton en Géorgie, des *Cryptosporidium* ont été isolés et identifiés dans l'eau de distribution. Or cette eau avait été traitée par coagulation, sédimentation, filtration puis désinfection, le taux de chlore résiduel libre étant de 1,5 mg/l à la station. [73]

Enfin, il convient d'évoquer le rôle des nématodes (vers) qui sont systématiquement retrouvés dans les canalisations. Ces vers colonisent les filtres et s'y reproduisent activement [21]. Ils sont très résistants à la chloration et supportent sans dommage les résiduels de chlore maintenus dans les canalisations [6]. Certains d'entre eux pourraient héberger et protéger des bactéries (*Salmonelles*, *Shigelles*) et virus pathogènes (*Coxsackievirus*), et jouer ainsi le rôle de vecteur d'agents infectieux. Les entérobactéries et virus éventuellement pathogènes pour l'homme, véhiculés dans le tube digestif de ces nématodes, peuvent y survivre 24 à 48 heures.

Ainsi, ces études confirment que tous les germes n'ont pas la même sensibilité au chlore que les *E.Coli*. Un certain nombre d'entre eux, de par leurs caractéristiques propres, peuvent échapper à un traitement classique par chloration seule. C'est le cas notamment des kystes de protozoaires, du HAV, des entérovirus ou de certaines bactéries comme les *Salmonelles*.

D'autre part, les germes font partie intégrante d'un environnement capable d'augmenter encore la résistance de certains d'entre eux, et de modifier sensiblement l'efficacité biocide du chlore.

En conclusion on peut dire que :

- les *Escherichia Coli* ne sont pas de bons indicateurs de la qualité microbiologique d'une eau traitée par chloration.

- un traitement de chloration bien conduit et la persistance d'un résiduel de 0,1 mg/l ne garantissent pas l'absence totale de germes pathogènes.

- l'élimination des spores et kystes de protozoaires nécessite d'autres procédés que la chloration (ex : filtration).

- La chloration résiduelle telle qu'elle est pratiquée en France ne constitue pas une protection contre une contamination accidentelle du réseau. Par ailleurs, la réglementation Française n'impose aucunement le maintien d'un résiduel en réseau. Elle précise seulement que si résiduel il y a, celui-ci ne doit pas excéder 0,1 mg/l.

L'instauration d'un résiduel plus élevé se heurterait au problème du goût de chlore, mal accepté par les consommateurs Français, et accroîtrait le risque d'apparition de sous-produits indésirables.

La résistance des virus vis-à-vis des quantités de chlore couramment appliquées pourrait confirmer l'hypothèse selon laquelle les virus seraient à l'heure actuelle la première cause de gastro-entérites.

Ces différentes constatations confirment la nécessité de choisir des ressources hydriques de la meilleure qualité possible et de les protéger efficacement contre une contamination externe.

4. MISE EN OEUVRE DE LA CHLORATION

4.1. Appareillage pour la mise en oeuvre du chlore gazeux

Il n'existe qu'une seule façon d'utiliser le chlore gazeux, aussi bien pour la désinfection de l'eau de boisson que pour les eaux de piscines.

Cet appareillage comprend au minimum :

- un dispositif de stockage du chlore
- un chloromètre à dépression
- un hydroéjecteur avec sonde d'injection

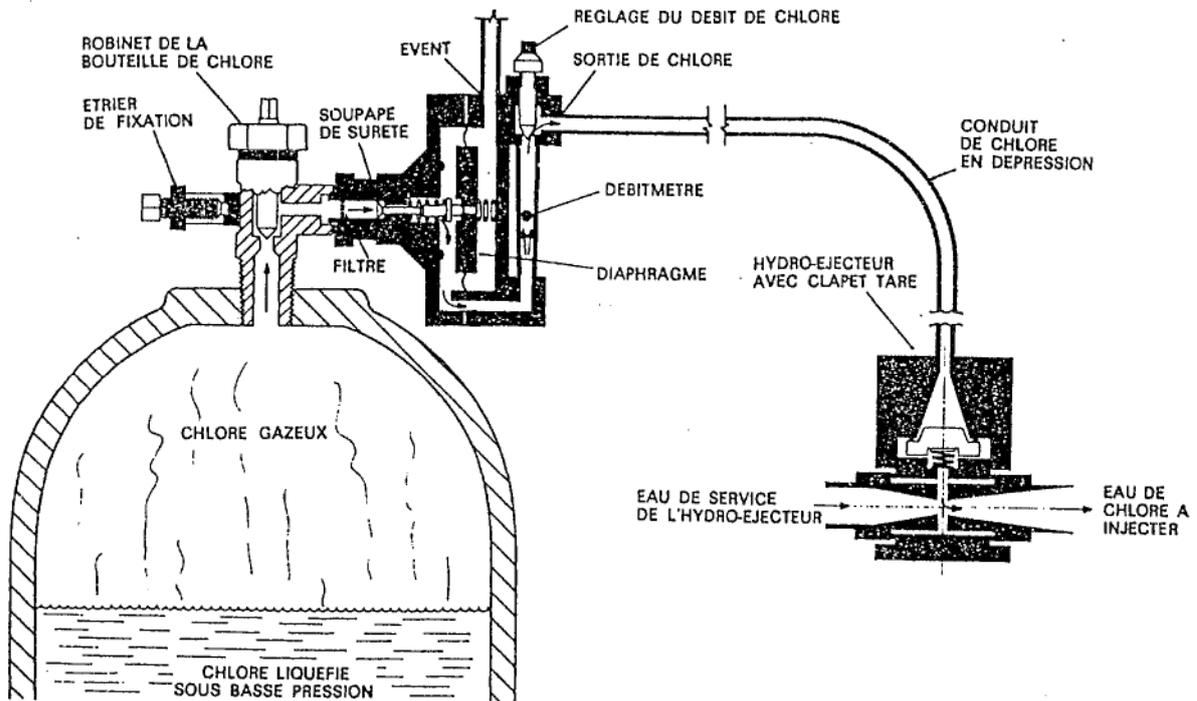
4.1.1. principe de fonctionnement des chloromètres sous vide

Le principe de fonctionnement des chloromètres est celui de la chloration indirecte.

Un courant d'eau auxiliaire sous pression, en traversant l'hydroéjecteur, provoque une dépression : il y a alors aspiration de chlore gazeux.

Le chlore aspiré traverse le chloromètre, le débitmètre et le robinet à pointeau qui sert à régler le débit de chloration. Puis il arrive au niveau de l'hydroéjecteur où il se mélange à l'eau auxiliaire, appelée aussi "eau motrice" ou "eau de service". Il se dissout instantanément pour ressortir sous forme d' "eau de chlore" (solution de chlore concentrée). Cette solution est enfin injectée dans l'eau à traiter.

Le schéma général de l'installation figure à la page suivante.



* le chloromètre

Il est monté directement sur le robinet d'une bouteille de chlore et il comporte :

- un filtre à chlore et un joint de plomb
- un débitmètre
- un bouton de réglage du débit de chlore
- un évent de sécurité

Le chloromètre est associé au débitmètre ; il s'agit d'un tube de verre gradué en gramme de chlore par heure, dans lequel se déplace une petite bille. Le réglage du débit de chlore se fait par simple manipulation d'un bouton.

Chaque constructeur propose des débitmètres de différents calibres. Il importe de choisir le débitmètre le mieux adapté au débit de chloration.

L'intérêt des chloromètres sous-vide, également appelés chloromètres à dépression, est que toutes les conduites, depuis le branchement sur la bouteille jusqu'au point de mise en solution, sont en dépression par rapport à l'atmosphère. Ainsi, toute rupture d'étanchéité provoque la fermeture instantanée de la soupape d'entrée du chlore, isolant ainsi la bouteille et interdisant tout dégagement de gaz.

* l'hydroéjecteur

Il fonctionne sur le principe du venturi. Il est traversé par un débit d'eau (eau motrice), pris en général en dérivation sur le débit à traiter. Il assure la double fonction d'aspirer le chlore gazeux et de le mélanger à l'eau motrice pour former l'eau de chlore qui sera injectée dans l'eau à traiter.

* stockage du chlore

Le chlore est livré en bouteilles d'acier de 30 ou 50 kg de capacité, sous forme partiellement liquéfiée. Ces bouteilles représentent un certain danger et doivent être manipulées avec soin. Elles doivent être stockées dans un placard donnant sur l'extérieur, dans lequel un homme ne doit pas pouvoir pénétrer.

A proximité des bouteilles doit se trouver un flacon d'ammoniaque destiné à détecter toute fuite de gaz ; le chlore gazeux, en effet, forme avec l'ammoniaque une fumée blanche caractéristique, semblable à celle d'une cigarette.

Un masque à gaz doit être également à portée de mains.

4.1.2. Asservissements possibles

* asservissement sur le débit d'eau à traiter

Il permet d'adapter la dose de chlore injectée au débit à traiter. Ainsi, si une augmentation du débit survient (orage, fonte des neiges...), la fréquence d'injection de chlore augmentera elle aussi. Lorsque le débit revient à son niveau initial, la fréquence d'injection diminue.

La régulation la plus précise, mais qui est d'un coût élevé, consiste à placer sur la conduite de distribution un compteur d'eau délivrant un signal électrique proportionnel au débit instantané mesuré. Une vanne motorisée à ouverture progressive est placée sur le circuit de chlore gazeux ; elle délivre également un signal électrique. En cas d'inégalité, le coffret agit sur l'ouverture de la vanne modulante de chlore, jusqu'à égalité des deux signaux.

Dans le cas des petits réseaux de distribution, la régulation de l'injection est réalisée par l'intermédiaire de compteurs à impulsions.

Un compteur à impulsions est un compteur d'eau qui délivre une impulsion électrique à chaque fois qu'un volume d'eau donné a été mesuré (par exemple après écoulement de 2, de 5, de 10 litres...). Cette impulsion commande

l'ouverture et le temps d'ouverture d'une électrovanne. L'eau de chlore est donc injectée en discontinu.

* Asservissement sur le résiduel de chlore.

Il a pour finalité de maintenir toujours constant, en modifiant la fréquence d'injection de chlore (gaz ou Javel), la valeur du résiduel fixée par le fontainier et mesurée en continu par une sonde.

C'est le seul moyen d'ajuster la dose de désinfectant à l'instant même où la demande en chlore varie. En effet, en l'absence de cette servitude, on ne peut que constater a posteriori, par une mesure du résiduel, qu'une augmentation de la demande en chlore a eu lieu.

Cette technique est à l'heure actuelle le "nec-plus-ultra" de la désinfection par le chlore.

4.2. Appareillage pour la mise en oeuvre de l'eau de Javel

Contrairement au chlore gazeux, il existe plusieurs moyens, plus ou moins rudimentaires, de pratiquer la chloration à l'eau de Javel.

4.2.1. les pompes doseuses

Elles sont directement montées sur le bac de Javel. Ce sont des pompes volumétriques à membrane dont la gamme de traitement est en générale comprise entre 0 et 10 à 20 litres/heure. Le réglage du débit se fait par rotation d'un bouton qui agit sur la course de la membrane, c'est à dire sur le volume pompé à chaque battement de membrane.

Avec une pompe doseuse, le débit de chloration doit être compris entre 1 et 5 litres/heure ; c'est pourquoi, lorsque le débit d'eau à traiter est faible, on ne peut utiliser directement l'extrait de Javel, car le débit de chloration tomberait en dessous de 1 litre/heure. On a alors recours à une dilution de l'extrait.

Cette dilution présente deux inconvénients :

- elle constitue une source possible d'erreurs,
- les solutions diluées posent d'avantage de problèmes d'entartrage que les extraits.

4.2.2. les "gouttes à gouttes"

Il s'agit de procédés rudimentaires qui fonctionnent sans énergie. Il en existe deux sortes :

*** Les plus simples :**

Ils sont constitués d'un bac ou d'un bidon remplis d'eau de Javel concentrée ou diluée, munis d'un tuyau et d'un robinet (de type robinet à perfusion). Le désinfectant s'écoule par simple gravité, goutte après goutte. On peut modifier le débit d'écoulement en fermant plus ou moins le robinet, à tâtons car il n'y a pas de point de repère. Il est très difficile de maintenir un débit constant car les tuyaux et le robinet se bouchent facilement.

*** Le doseur gravitaire Degrémont ou "horloge à chlore" :**

C'est un procédé un peu plus élaboré que le bidon muni d'un tuyau décrit ci-dessus. Le principe de fonctionnement consiste à faire descendre dans un bac, à vitesse donnée, un godet qui fait office de trop-plein. La solution chlorée, recueillie par le godet, passe dans un tuyau souple jusqu'au robinet au fond du bac et s'écoule ensuite, par gravité, vers le point d'injection dans l'eau à traiter. La vitesse de descente du godet est contrôlé par un système mécanique à ressort, analogue à une horloge, que l'on remonte manuellement. Le débit de chloration est alors constant.

4.2.3. injection manuelle de doses de Javel dans le réservoir

C'est surtout une solution de secours à titre provisoire, lors d'une contamination passagère s'il n'existe pas de traitement, ou lors de l'arrêt du dispositif de désinfection habituel.

4.2.4. les comprimés d'hypochlorites de calcium

Ils doivent toujours être mis en solution avant injection. Leur dissolution est assez lente, il faut donc prévoir un temps d'agitation suffisant.

Il convient de n'utiliser, pour diluer ou mettre en solution ces produits, qu'une eau à faible teneur en calcium (dureté < 10-15°f). Le non respect de cette condition entraîne en effet une précipitation, dans le bac de préparation, de carbonates de calcium insolubles.

4.2.5. asservissements possibles

Les pompes doseuses peuvent être couplées aux mêmes techniques d'asservissement que celles décrites au paragraphe des chloromètres. En revanche, gouttes à gouttes et horloges à chlore ne sont pas asservissables.

4.3. Comparaison des deux modes de chloration

Le tableau suivant établit une comparaison entre chlore gazeux et hypochlorite de sodium vis-à-vis de différents paramètres.

	chlore gazeux	hypochlorite de sodium
autonomie	plusieurs mois	15 jours maximum
réglage	simple - précis	délicat - imprécis
entartrage des dispositifs	minime	fréquent
sensibilité au froid	insensible	sensible
approvisionnement local	parfois difficile	très facile
stabilité dans le temps	très bonne	pertes de 2 à 4 % par mois - pertes encore plus grandes si la température dépasse 30°C
sécurité	gaz très toxique	liquide corrosif - contient de la soude
coût investissements	élevé	moindre
coût fonctionnement	moindre	élevé

On constate que le chlore gazeux présente globalement plus d'avantages que l'hypochlorite de sodium.

Finalement, les procédés permettant la mise en oeuvre du chlore sont variés, du plus rudimentaire au plus sophistiqué, ce qui permet à chacun de trouver une solution adaptée à ses moyens.

4.4. Mesure de la teneur résiduelle en chlore

Il est important de s'assurer de la présence de chlore libre dans l'eau en tout point du réseau. La mesure de la teneur résiduelle en chlore constitue en effet un signal d'alarme immédiat et peu coûteux permettant de surveiller l'évolution de la qualité microbiologique dans le réseau.

Il s'agit d'une mesure colorimétrique qui nécessite l'acquisition d'un comparateur visuel ou d'un spectromètre, de deux cuves de 10 ml, d'un disque étalon et de comprimés de réactif. Un comprimé est dissout dans une première cuve ; en présence de chlore libre, l'eau prend une coloration rose dont l'intensité est fonction de la concentration en chlore libre. Les deux cuves sont introduites dans le comparateur ou dans le spectromètre, la seconde contenant la même eau sans réactif. Il suffit alors de tourner le disque étalon jusqu'à obtention d'une même intensité de rose, et de lire sur le disque la concentration correspondante en chlore libre. L'ensemble de la mesure prend moins de 5 minutes. Les résultats sont précis au dixième.

Il existe une autre méthode de mesure, dont le réactif est l'orthotolidine, moins précise que le D.P.D.

La surveillance du résiduel de chlore libre doit être effectuée le plus souvent possible aux extrémités du réseau.

En somme, les désagréments et les limites d'efficacité de la chloration proviennent davantage d'une mauvaise qualité de l'eau à traiter que du chlore lui-même.

TROISIEME PARTIE:

**SITUATION DANS LE DEPARTEMENT DE L'ISERE -
BILAN D' UNE ENQUETE DESTINEE A DEFINIR
LES CAUSES DE DYSFONCTIONNEMENT DES
DISPOSITIFS DE CHLORATION**

Depuis le début des années 80, le service Santé-Environnement de la DDASS Isère mène une action de sensibilisation des collectivités locales au problème de la qualité de l'eau distribuée. Elle incite à la mise en place de traitements de désinfection lorsque cela s'avère impératif : réseaux régulièrement ou épisodiquement le siège de contaminations microbiennes.

Après des débuts hésitants, le nombre des installations de désinfection a nettement augmenté, les procédés de traitement par le chlore étant la technique le plus souvent adoptée.

Pourtant, malgré ces efforts, il n'a pas été observé une amélioration sensible de la qualité microbiologique des eaux distribuées. Par ailleurs, un bilan dressé par la DDASS en 1991 révèle que 20 % des installations en place dans le département délivrent une eau régulièrement de mauvaise qualité microbiologique.

Pour tenter de comprendre cette situation, une enquête a été réalisée au printemps 94 sur 50 installations du département pratiquant la désinfection par chloration.

Trois objectifs ont été assignés à cette étude :

- 1- décrire les pratiques de chloration d'un échantillon de 50 installations,
- 2- définir les causes de dysfonctionnement des différents appareillages,
- 3- proposer des recommandations techniques pour optimiser la désinfection par le chlore (cette partie technique ne sera pas abordée dans cette thèse).

Pour atteindre ces objectifs, un questionnaire a été élaboré puis rempli sur le terrain par un enquêteur désigné à cet effet.

1. MATERIEL ET METHODE

1.1. Présentation du terrain d'étude : le département de l'Isère

1.1.1. Situation géographique

Le département de l'Isère est caractérisé par sa situation géographique au coeur de massifs montagneux prestigieux : Ecrins, Vercors, Chartreuse. D'une superficie d'environ 8 000 km², il s'étend d'Ouest en Est, des faubourgs de Lyon aux sommets des massifs de l'Oisan et du Pelvoux. Il est bordé au Nord par l'Ain et la Savoie, au Sud par la Drôme et les Hautes-Alpes.

Il se compose de deux zones bien distinctes : le Bas-Dauphiné qui descend vers l'Ouest depuis la chaîne de la Chartreuse et la vallée du Rhône, et la partie montagneuse, à l'Est.

1.1.2. Nature de la ressource en eau

* Origine des ressources

Le département de l'Isère est alimenté presque exclusivement par des eaux souterraines. Les prises d'eau superficielles ne représentent que 1 % des ouvrages et concernent une très faible tranche de population, en zone de montagne. [45]

12 % des ouvrages recensés exploitent les aquifères alluviaux, qui constituent les milieux les mieux protégés contre les pollutions d'origines microbiennes, les alluvions jouant en effet le rôle de filtre naturel.

4 % des ouvrages captent des eaux provenant de calcaires fissurés et karstifiés des massifs du Vercors et de la Chartreuse. Le libre écoulement de l'eau dans ces structures géologiques n'assure aucune filtration naturelle. De plus, des eaux d'origine superficielle sont susceptibles de s'engouffrer aisément par les

karsts et de polluer ainsi la ressource. Ce type de ressource est donc très vulnérable.

82 % des ouvrages drainent des eaux souterraines d'origines diverses : éboulis, cônes de déjection, dépôts mollassiques (= sableux) dont la protection naturelle est extrêmement variable.

* abondance

La ressource en eau est abondante dans la majeure partie du département.

On recense notamment une multitude de petites ressources exploitées par des communes. Plusieurs points d'eau différents sont souvent utilisés par une même collectivité, soit pour des raisons de topographie ou de dispersion de l'habitat, soit du fait de l'absence d'une unique ressource suffisante dans le secteur.

Ainsi il n'est pas rare que 5 ou 6 sources différentes, de faible débit, se rejoignent au niveau d'un captage ou d'un réservoir pour n'alimenter que quelques dizaines d'abonnés.

L'ensemble du département est alimenté à partir de 1336 captages, soit 1 captage pour 450 habitants si l'on fait abstraction de l'agglomération Grenobloise ; ce rapport constitue un record national.

(A titre de comparaison, le département du Rhône exploite 80 captages et la Loire Atlantique 25).

* protection des ressources

Le Code de la Santé Publique stipule que tout projet de captage doit être autorisé par un arrêté préfectoral qui définit les périmètres de protection des ouvrages.

Dans l'Isère, 40 % des captages ne font l'objet d'aucune protection territoriale particulière, et environ 90 % des ouvrages n'ont pas suivi la procédure qui aboutit à l'obtention de l'arrêté préfectoral d'autorisation. [45]

Il est à remarquer que la mise en place de ces périmètres dans les secteurs de montagne, boisés, difficilement accessibles et loin de toute activité polluante, n'apporterait probablement que peu d'amélioration. En revanche, dans les autres cas, ce défaut de protection peut constituer une des causes fondamentales de la dégradation de la qualité de l'eau.

En somme, le département de l'Isère bénéficie d'une abondante ressource en eau, qui permet à chaque collectivité de posséder son propre captage. On assiste de ce fait à une dispersion de petits ouvrages, avec pour conséquence des difficultés de gestion et d'exploitation. Il est en effet plus aisé de mobiliser les efforts et les budgets sur quelques ouvrages capitaux que sur une multitude de petits ouvrages dispersés.

L'absence souvent constatée de périmètres de protection, pourtant obligatoires, témoigne de cette difficulté à contrôler ces ouvrages, ainsi que de la méconnaissance des collectivités face aux risques encourus par les consommateurs.

1.1.3. Qualité microbiologique des eaux distribuées dans l'Isère

*** Qualité des eaux, traitées ou non traitées**

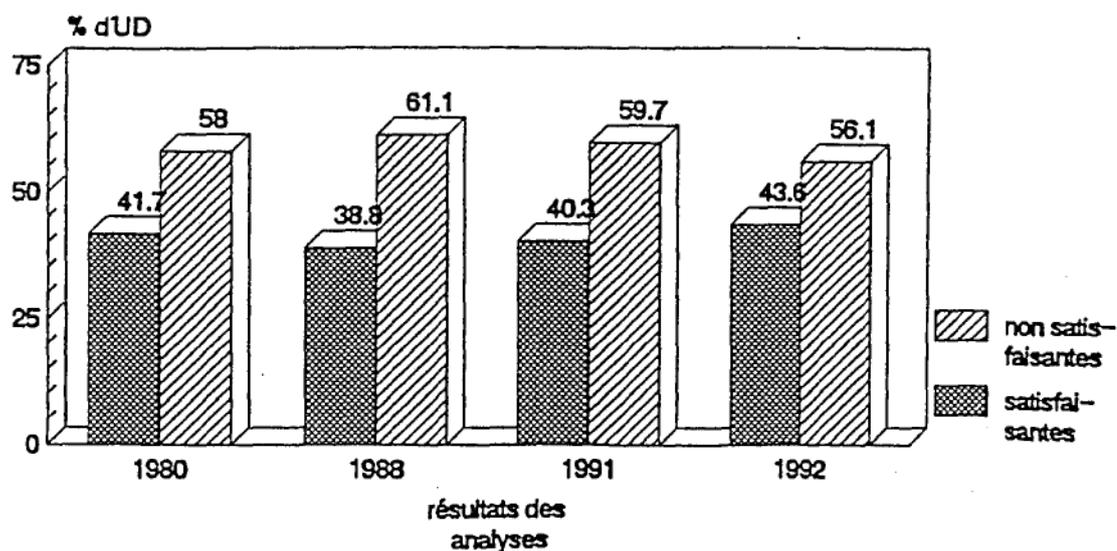
La qualité microbiologique des eaux distribuées dans l'Isère n'est pas uniforme. Cette disparité apparaît dans le tableau ci-dessous. Il montre qu'en 1992, plus de la moitié des unités de distribution du département ont délivré une eau de qualité microbiologique jugée insatisfaisante.

Répartition des unités de distribution	
Qualité microbiologique de l'eau distribuée (avec ou sans désinfection) :	Pourcentage d'unités de distribution
satisfaisante ($R > 90 \%$)	43,60%
non satisfaisante ($R < 90 \%$)	56,10%
dont $60 < R < 90 \%$	35,30%
$30 < R < 60 \%$	17,50%
$R < 30 \%$	3,30%

Dans ce tableau, la lettre R désigne le taux de conformité. Il représente, pour une source donnée, le pourcentage d'analyses qui répondent aux normes de potabilité microbiologique, sur une période de un an. R est donc le rapport du nombre d'analyses conformes par le nombre total d'analyses effectuées en un an. Rappelons que ce nombre d'analyses peut être extrêmement faible.

Le graphique suivant montre l'évolution, entre 1980 et 1992, de la qualité des eaux distribuées dans le département. Il apparaît qu'en l'espace de 12 ans, il n'y a pas eu d'amélioration franche de la qualité.

pourcentage d'unités de distribution ayant délivré une eau de qualité satisfaisante ou non satisfaisante.



La carte de la "qualité bactériologique dans l'Isère" qui figure page suivante montre que les résultats les plus défavorables sont principalement localisés dans les zones rurales ou montagneuses.

* Qualité des eaux ayant subi un traitement de désinfection

A priori, la présence d'un dispositif de désinfection doit permettre de fournir une eau conforme aux normes sanitaires, c'est à dire dépourvue d'indicateurs bactériens, lesquels sont des espèces relativement sensibles au chlore.

Or en 1992, **42 %** des installations de désinfection ont délivré une eau ne respectant pas systématiquement les normes microbiologiques (R<90 %), et **12 %** une eau de qualité franchement médiocre (R<60 %).

Par conséquent, la présence d'une installation de désinfection ne garantit pas nécessairement la qualité microbiologique de l'eau produite.

1.1.4. Recensement des installations de désinfection (tous procédés)

Le recensement est effectué à l'aide de documents fournis par la DDASS de l'Isère.

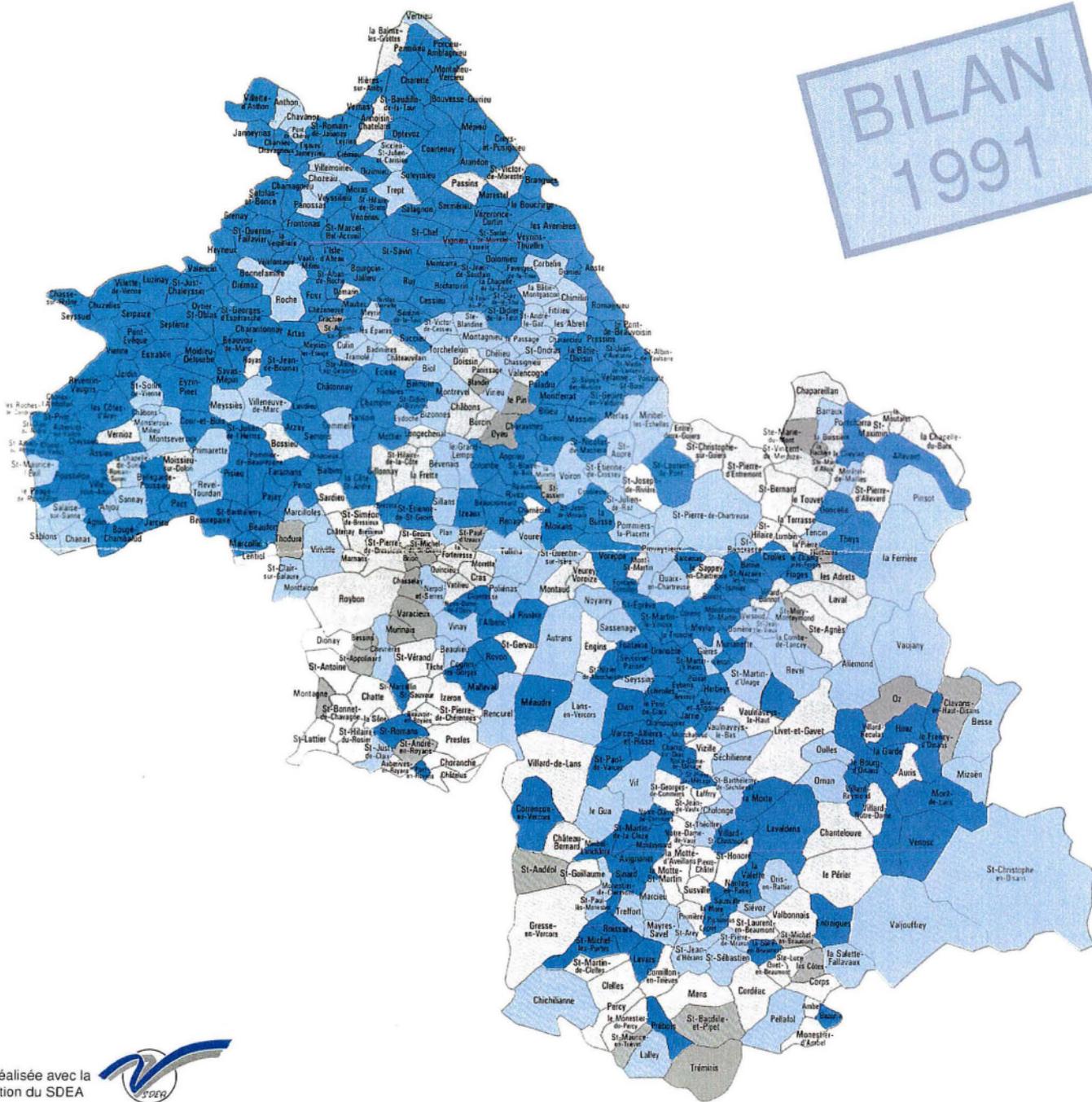
Il est difficile d'établir le nombre exact et la nature des installations car il n'est pas rare qu'une collectivité omette d'avertir les services de la DDASS lorsqu'elle met en place un nouveau procédé. Cela dit, les chiffres obtenus permettent de mettre en évidence une nette prédominance des deux agents de chloration : chlore gazeux et hypochlorite de sodium (eau de Javel).

	CL2	JAVEL	UV	BIOXYDE	OZONE	TOTAL
1988	110	35	13	3	5	166
1993	106	82	70	3	3	264

Ce tableau montre une très nette augmentation, en 5 ans, de l'emploi de l'eau de Javel et des rayons UV. Par contre, aucune évolution n'est observée pour les autres procédés : chlore gazeux, bioxyde et ozone.

Qualité Bactériologique des eaux d'alimentation de l'Isère

BILAN
1991



Edition réalisée avec la participation du SDEA



LEGENDE	
	R ≥ 90 Bonne qualité
	75 ≤ R < 90 Qualité moyenne
	50 ≤ R < 75 Qualité médiocre
	R < 50 Mauvaise qualité

REPARTITION DE LA POPULATION ET DES UNITES DE DISTRIBUTION				
en %	R ≥ 90	75 ≤ R < 90	50 ≤ R < 75	R < 50
Population (1 000 000)	76,0	14,4	8,3	1,3
Unités de distribution (929)	40,3	22,6	25,6	11,5

R : taux de conformité, en %, pondéré selon la population des différentes unités de distribution.

Enfin, le nombre total d'installations de désinfection a augmenté de **58 %** dans l'Isère en 5 ans.

Pourtant cette augmentation n'est pas corrélée, comme cela vient d'être constaté, à une amélioration de la qualité de l'eau distribuée.

1.2. Elaboration du questionnaire

Le questionnaire comporte deux parties :

- une partie appelée "préliminaires" qui regroupe des données recueillies non pas auprès des exploitants d'installations mais dans les services de la DDASS, au moyen du dossier analytique de chaque unité de distribution.

- le questionnaire de terrain

Celui-ci comporte une dizaine de chapîtres qui abordent successivement :

- la ressource
- la qualité de l'eau brute
- la qualité de l'eau traitée
- le réseau de distribution
- l' appareillage
- la pratique de la chloration
- la maintenance et l'exploitation de l'installation
- les incidents connus de l'exploitant depuis la mise en service de l'installation
- l'avis personnel de l'exploitant sur le procédé en place.

Certaines données ont pour seule utilité la description de l'installation, d'autres serviront ultérieurement à la recherche des paramètres de dysfonctionnement.

Ce questionnaire est présenté en annexe.

1.3. Choix des sites

1.3.1. Nombre de sites

Afin de limiter la durée de l'enquête, et pour que l'échantillon soit suffisamment large, le nombre de sites retenus a été fixé à 50.

1.3.2. Critères de choix

En 1993, le département de l'Isère compte 188 installations de chloration (chlore gazeux et hypochlorites). L'objectif fixé est d'obtenir un échantillon de l'ensemble de ces installations selon 4 critères contrôlés :

- *1^{er} critère : la qualité microbiologique des eaux brutes.*

Lorsqu'une ressource hydrique est de bonne qualité microbiologique et si cette qualité se maintient dans le temps, la désinfection a un rôle de sécurité. Il est par conséquent difficile d'évaluer l'efficacité réelle du procédé de désinfection. C'est pourquoi il a été décidé de limiter l'étude au seul cas des eaux brutes de mauvaise qualité microbiologique.

La détermination de cette qualité s'effectue à l'aide des bordereaux d'analyses en provenance du Laboratoire Régional des Eaux et également, pour quelques cas, des bordereaux d'analyses des exploitants privés.

Il s'agit de dénombrer les analyses conformes et les analyses non conformes, ce qui représente un exercice périlleux, en particulier lorsqu'un même captage est alimenté par plusieurs sources différentes.

Signalons que ces eaux brutes ne contiennent pas nécessairement un nombre élevé de germes ; la présence d'un seul streptocoque fécal suffit en effet pour rendre une analyse positive.

Seules sont retenues les unités de distribution dont la proportion d'analyses non conformes est de l'ordre de 60 % au minimum.

- 2ème critère : le mode de chloration

Ce critère consiste à distinguer les formes d'utilisation du chlore, à savoir la forme gaz, notée Cl₂, et la forme hypochlorite. Les installations au bioxyde de chlore n'entrent pas dans le cadre de cette enquête en raison de leur rareté dans le département (3 installations).

- 3ème critère : le taux de conformité obtenu à l'issue de la désinfection

Les installations sont répertoriées selon que le taux de conformité de l'eau traitée est supérieure ou égale à 90 %. Il aurait été logique d'adopter la valeur 100 %; mais le nombre de sites répondant à ce critère et dont la qualité de l'eau brute a pu être établie est très inférieur à 50. C'est pourquoi nous avons élargi la donnée à 90 %, considérant qu'au dessus de cette valeur, l'eau traitée est de qualité satisfaisante.

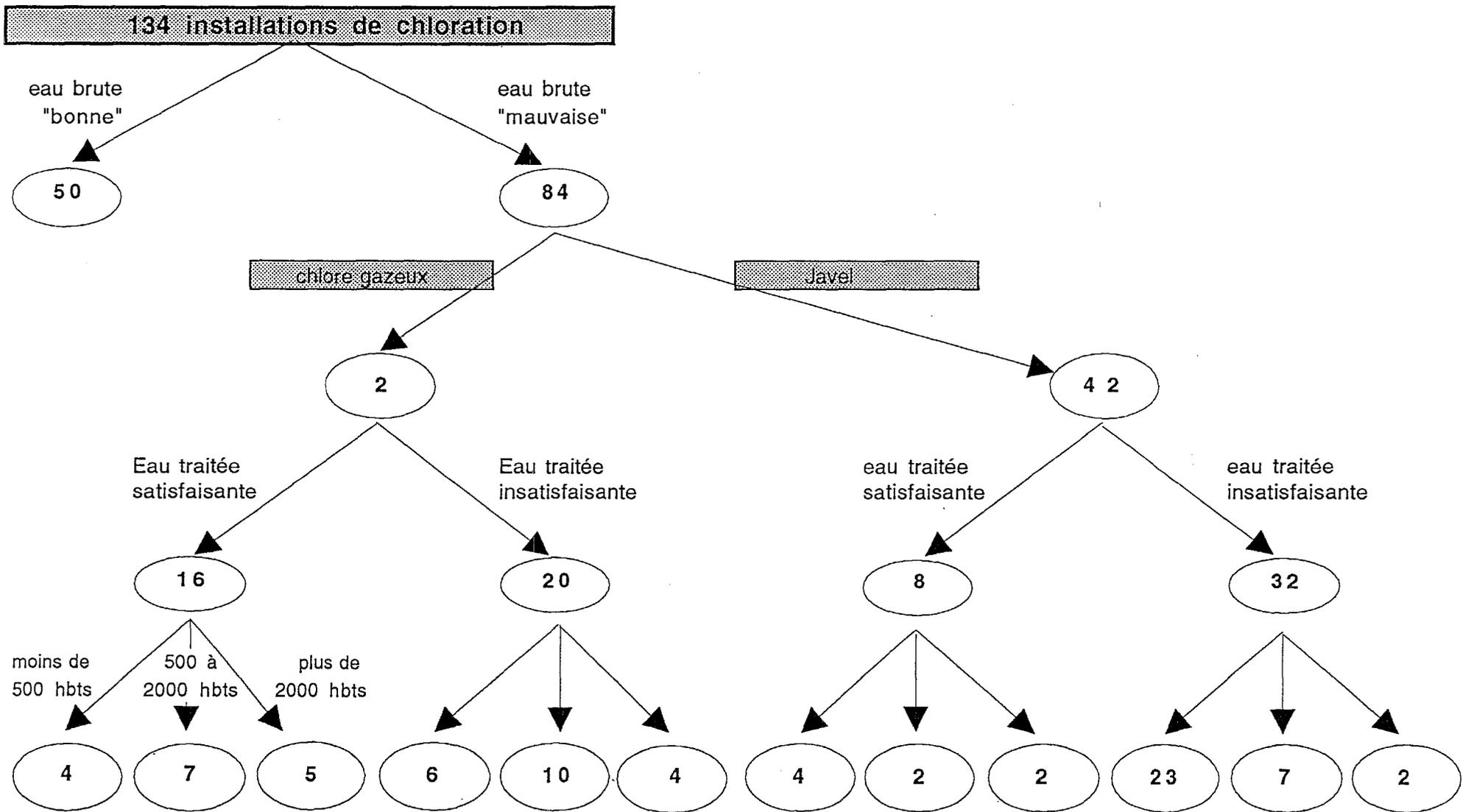
- 4ème critère : le nombre d'habitants desservis

Ce critère permettra de voir, lors de l'exploitation des résultats, s'il existe des différences significatives entre la pratique de la chloration dans les petites unités de distribution et les plus grandes.

Trois classes sont établies :

- moins de 500 habitants
- entre 500 et 2000 habitants
- plus de 2000 habitants

Le résultat de ce classement est présenté page suivante.



Classification des installations selon 4 critères: Qualité de l'eau brute, procédé, qualité de l'eau traitée et nombre d'habitants desservis.

Remarque : Seules figurent dans ce schéma les installations pour lesquelles nous avons pu recueillir les renseignements voulus, à savoir le taux de conformité et le nombre d'habitants desservis. Ceci explique que le nombre d'installations annoncé ici (134) soit inférieur au nombre total d'installations recensées (188)

Douze groupes de tailles inégales sont obtenus. L'un d'entre eux se distingue par l'importance de ses effectifs : il concerne les sites qui desservent moins de 500 habitants, munis d'un procédé Javel, et qui procurent après traitement une eau de qualité insuffisante. 23 de ces sites sur les 27 recensés ne parviennent pas à des résultats satisfaisants.

Le choix final des 50 sites est réalisé en respectant les effectifs de chacun des douze groupes, afin que l'échantillon soit représentatif du parc existant pour les critères considérés.

1.4. Déroulement de l'enquête

La prise de contact avec les exploitants des installations sélectionnées s'effectue dans un premier temps par courrier. La correspondance est adressée:

- au Maire lorsque l'installation est exploitée en régie communale
- au Président du Syndicat Intercommunal des Eaux lorsqu'il s'agit d'une régie intercommunale
- aux Directeurs locaux des sociétés fermières (CGE, SDEI, SAUR...) lorsque l'exploitation est confiée à une société privée.

Quelques jours plus tard, un contact téléphonique est établi avec la personne chargée de la maintenance, et un rendez-vous est fixé pour une visite de l'installation.

L'enquête s'échelonne sur 3 semaines et recouvre l'ensemble du département.

Deux sites ne pourront être visités faute de temps (les rendez-vous fixés ont dû être reportés à une date trop tardive).

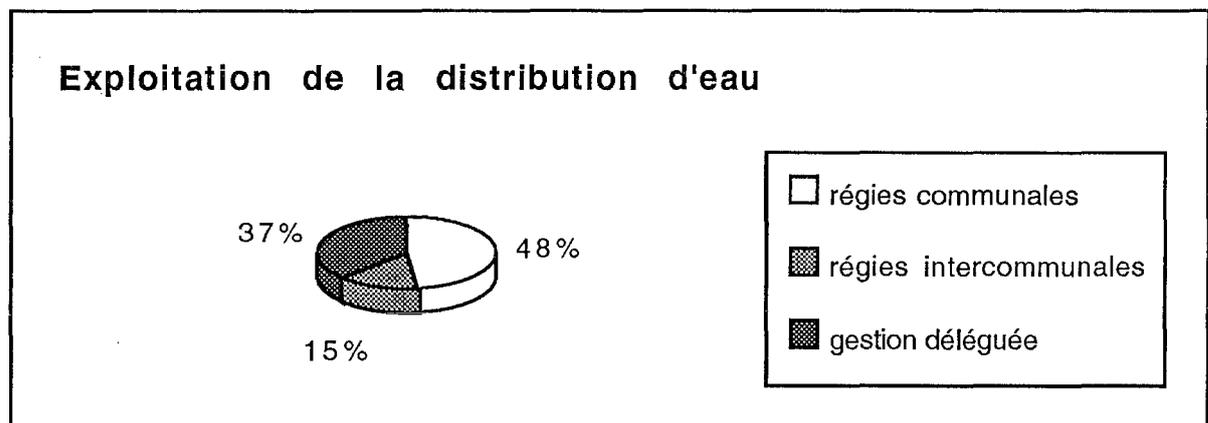
Deux installations de chloration n'existent plus et ont été remplacées par un traitement par les UV, ce qui confirme le constat selon lequel les exploitants ne tiennent pas toujours la DDASS au courant de leurs initiatives.

L'enquête est prise au sérieux par les exploitants rencontrés ; certains d'entre eux manifestent de l'inquiétude à l'idée d'être questionnés.

2. RESULTATS ET ANALYSE :DESCRIPTION DU PARC DES INSTALLATIONS ET DES PRATIQUES DE CHLORATION.

2.1. l'exploitant

Les communes ont le choix d'assurer elles mêmes la production et la distribution d'eau potable, ou de confier ce service à une société privée. La figure ci-dessous montre la répartition des types d'exploitation rencontrés.



Dans les villes, **la régie communale** peut être assurée par un service technique municipal comprenant ingénieurs, techniciens qualifiés et matériel de pointe : télégestion, alarmes, ordinateurs...

Dans les petites communes, le service est généralement confié à un fontainier désigné (employé de mairie, agriculteur...) dont les connaissances en matière de désinfection sont souvent rudimentaires, de même que les moyens techniques et financiers qui sont mis à sa disposition.

Dans la **gestion déléguée**, la commune choisit de se libérer des contraintes quotidiennes du service en le déléguant à une entreprise privée, spécialisée dans les métiers de l'eau (CGE, SAUR, SDEI...)

Enfin, pour réunir leurs moyens financiers, plusieurs communes peuvent se regrouper au sein d'un syndicat : SIVOM, SIE...
Le syndicat peut opter pour un fonctionnement en régie (**régie intercommunale**) ou pour une gestion déléguée.

L'enquête révèle que la nature publique (régie) ou privée (gestion déléguée) de l'exploitant n'a pas de conséquence notable sur les résultats obtenus. Par contre, l'envergure de l'exploitant constitue un facteur significatif vis-à-vis de la qualité des résultats. Ainsi, les sociétés fermières et les régies gérant plus de 2.000 habitants obtiennent globalement de meilleurs résultats que les petites régies communales ; celles-ci en effet ne sont à l'origine que de 15 % des résultats satisfaisants.

2.2. la ressource

Parmi les communes visitées, l'eau brute présente une dureté supérieure à 15° f dans 90 % des cas, et un pH compris entre 7,5 et 8,5.

La survenue ponctuelle d'une turbidité et/ou d'une coloration concerne une douzaine de sites.

Turbidité et coloration vont généralement de paire : quand une eau présente occasionnellement une turbidité, elle présente aussi une coloration, mais pas nécessairement simultanément.

2.3. appareillage

2.3.1. dispositifs de chloration

les installations recensées se répartissent comme suit :

	chlore gazeux	Javel diluée	Javel extrait
Chloromètres	21		
pompes doseuses		4	15
gouttes à gouttes		4	1
autres		1	

Parmi les gouttes à gouttes recensés figurent 2 systèmes à horloge dont le fonctionnement est expliqué au chapitre 4.2. de la seconde partie.

Le procédé "autre" consiste à injecter manuellement dans le réservoir 25 ml d'extrait de Javel mesurés à l'aide d'une bouteille de bière. Cette technique pour le moins rustique a été observée dans la plus petite des communes visitées lors de l'enquête (une soixantaine d'habitants).

2.3.2. systèmes d'alarme et de télégestion

Six systèmes d'alarme avec transfert du signal et télégestion ont été dénombrés ; un message téléphonique avertit le ou les agents d'astreintes qu'un problème est survenu. L'agent prend connaissance de la nature de l'incident en consultant le minitel (5 cas) ou un ordinateur (1 cas). Il peut également, en dehors de tout incident, s'informer du bon fonctionnement de l'installation : niveau de chlore dans les bouteilles, débits traités ...

Les systèmes d'alarme et de télégestion sont des technologies récentes qui occasionnent des investissements importants. Ils ont été observés sur des installations desservant plus de 1000 habitants (1000-1100-1500-5000) et sur deux installations qui desservent moins de 500 habitants. Ces-dernières relèvent d'un syndicat intercommunal qui a choisi d'équiper ainsi toutes ses installations, quelque soit leur importance.

Sur les 6 installations ainsi équipées, 2 ne délivrent pas systématiquement une eau exempte de bactéries indicatrices.

2.3.3. énergie

Sur le plan énergétique, on distingue 3 sortes d'installations :

- celles qui sont alimentées par une ligne EDF
- celles qui sont alimentées par des batteries rechargeables ou des panneaux solaires

- celles qui fonctionnent sans énergie

La durée d'autonomie des batteries rechargeables varie de une semaine à un an selon les installations visitées. Elles se rencontrent surtout sur les sites situés à l'écart et pour lesquels le raccordement à une ligne EDF est impossible. L'accès à ces sites est souvent difficile, en particulier l'hiver en raison de la neige.

L'enquête révèle que 88 % des installations montées sur batteries donnent des résultats insuffisants ; il s'agit dans tous les cas de pompes doseuses.

Cependant, il n'est pas possible de conclure que la présence de batteries soit une cause de dysfonctionnement. En effet, il est difficile de déterminer si ces mauvais résultats incombent aux batteries proprement dites ou à d'autres facteurs (manque de fiabilité des pompes doseuses, entretien insuffisant de l'ouvrage du fait d'un accès difficile...)

2.3.4. asservissement

L'asservissement du débit de chloration au débit d'eau à traiter concerne 52 % des installations.

8 % sont asservies sur le démarrage des pompes de relevage, et 4 % sur le résiduel de chlore.

37 % des installations ne disposent d'aucun asservissement.

2.4. mise en oeuvre de la chloration

2.4.1. dose de chlore injectée

50 % des fontainiers rencontrés ne connaissent pas la dose de traitement qu'ils appliquent. Les fontainiers relevant d'une société privée ne la connaissent pas d'avantage que les exploitants publics.

Bien souvent, le fontainier se contente de suivre les consignes qui lui ont été données, mais il arrive souvent que celles-ci n'aient jamais été reconsidérées depuis la mise en place de l'appareillage.

Le tableau suivant donne la répartition des doses de traitement recueillies auprès du fontainier ou obtenues par calcul.

Dose de chlore injectée (mg/l)	< 0,2	0,2 < < 0,5	> 0,5
Pourcentage de stations visitées	37%	48%	14%

Il convient de rappeler qu'un taux de chlore libre de l'ordre de 0,2 mg/l pendant une quinzaine de minutes est nécessaire pour inactiver les principaux germes bactériens ; il doit être supérieur à 0,3 mg/l pendant 45 mn pour les virus.

Les chiffres annoncés dans le tableau ne sont pas les valeurs de résiduel mais les doses au moment de l'injection. Le résiduel dépendra de la demande en chlore.

Or, pour 37 % des stations, la dose de traitement est inférieure à 0,2 mg/l. Pour une station, elle atteint même 0,05 mg/l d'après l'agent interrogé. Ces valeurs sont insuffisantes pour assurer une désinfection efficace et le résiduel en réseau risque d'être inexistant.

Cependant, comme cela a été précisé au paragraphe 3 de la seconde partie, une faible dose de chlore peut tout de même être efficace si la demande en chlore de l'eau est faible et/ou si le temps de contact est rallongé. Or, lorsque l'injection du désinfectant se produit en tête de réservoir, le temps de contact lié à la durée de vidange du réservoir peut être largement supérieur à 15 mn.

Dans tous les autres cas, la dose de chlore injectée semble suffisante.

La valeur 2 mg/l a été annoncée à deux reprises, ce qui est une limite supérieure ; une telle dose est en effet préconisée pour des eaux de qualité très médiocre présentant une demande en chlore élevée. Si tel n'est pas le cas, une surchloration est constatée et l'eau risque d'avoir un goût de chlore prononcé.

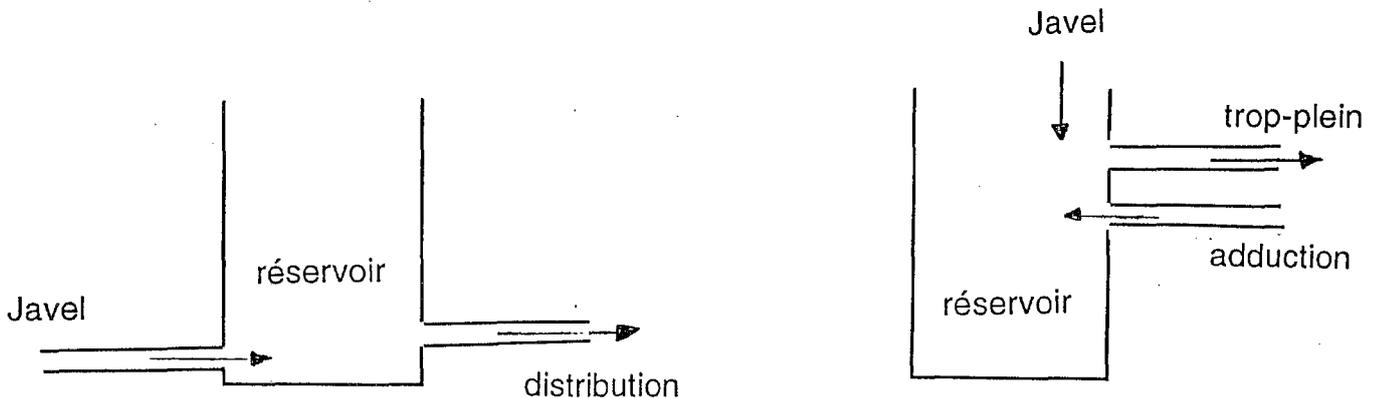
2.4.2. lieu d'injection du chlore

L'injection a lieu :

- dans un réservoir ou une bache de reprise, dans 52 % des cas
- sur l'adduction, dans 39 % des cas rencontrés
- sur le départ en distribution, dans 8 % des cas.

Lorsque l'injection de chlore a lieu dans le réservoir ou en amont, celui-ci fait office de bassin de contact et permet d'assurer un temps de contact prolongé (supérieur à 15 mn).

Il faut toutefois que le lieu d'injection au coeur du réservoir soit compatible avec un mélange convenable de l'eau à traiter. Sur 4 des sites visités, les cas de figure suivants ont été relevés :



Ici, l'homogénéité du mélange Javel/eau est compromise. Le chlore étant plus lourd que l'eau, il demeure dans le fond du réservoir.

Ici, l'eau de javel est injectée à proximité immédiate du trop-plein. Elle risque d'être évacuée dès son injection si le trop-plein est sollicité.

Lorsque l'injection a lieu en distribution (4 cas), il est essentiel de connaître le temps de contact entre le site d'injection et les premiers abonnés. Or, dans 2 cas, le temps de contact minimum n'était pas connu du fontainier. Sur un autre site, l'exploitant a admis que le temps de contact était inférieur à 15 mn pour les premiers abonnés du réseau.

2.4.3. Mesure du résiduel

La mesure du résiduel de chlore actif est le seul moyen de vérifier le bon réglage des appareils de désinfection, quelque soit la qualité de l'eau. Or, neuf des exploitants rencontrés ne contrôlent jamais le résiduel, et deux d'entre eux ne possèdent pas le coffret de mesure.

Les sept autres le détiennent mais ne réalisent pas quel est l'intérêt de cette mesure. Il s'agit dans tous les cas d'exploitants relevant d'une régie communale (7 cas) ou intercommunale (2 cas).

Certains fontainiers n'effectuent la mesure que lorsque surviennent des plaintes pour goût excessif de chlore. Le réflexe de nombreux fontainiers en pareille circonstance est de diminuer la dose de chlore injectée, alors qu'il serait peut-être nécessaire de l'augmenter afin de détruire les chloramines responsables de ces désagréments. Seule la mesure du résiduel permet alors de trancher.

Lorsque cette mesure est effectuée régulièrement, la fréquence varie de une fois par jour à une fois par mois. Le tableau suivant donne la répartition des fréquences recensées lors de l'enquête.

Fréquence de mesure du résiduel	tous les jours	plus d'une fois par semaine	moins d'une fois par semaine
% de cas	9	59	32

La mesure s'effectue presque toujours à la station, à l'occasion d'une visite de l'installation, plus rarement en bout de réseau (15 % des cas). Or, rappelons qu'une mesure du résiduel en bout de réseau est le seul moyen de contrôler l'absence d'une contamination.

La méthode employée est exclusivement le DPD.

2.5. Mise en oeuvre de l'eau de Javel

Huit exploitants emploient de l'eau de Javel diluée. Bien que l'eau brute, dans tous les cas, présente une dureté importante, un seul parmi ces huit exploitants utilise de l'eau déminéralisée pour la préparation des solutions. Mais paradoxalement, cet exploitant apparemment consciencieux conserve sa solution diluée pendant 1 an. Il fait partie des 5 exploitants qui renouvellent leurs solutions diluées avec une fréquence inférieure à 1 mois, au lieu des 15 jours préconisés.

La durée de stockage des extraits varie de quelques semaines à plus d'un an. Les durées de stockage excessives ont essentiellement été relevées dans des petites collectivités.

2.6. Maintenance des installations

Le bon fonctionnement des installations implique des visites régulières de contrôle. La fréquence de ces visites est souvent corrélée à la fréquence des mesures de résiduel.

Elles se répartissent comme suit :

Fréquence des contrôles (par semaine)	moins d'une fois	une fois	plusieurs fois
% de cas	6	39	25

Le fontainier vérifie que le niveau du bac de Javel a diminué, que le chloromètre fonctionne, que la bille du débitmètre n'est pas bloquée...

Certains fontainiers pratiquent la prévention : nettoyage régulier des tuyaux, du tube du débitmètre avant qu'il ne s'obture, désentartrage hebdomadaire de la canne d'injection de Javel... D'autres attendent systématiquement que survienne une panne pour intervenir.

L'enquête a mis en évidence que les taux de conformité sont sensiblement meilleurs lorsque des gestes préventifs sont effectués que lorsque il y a attente de l'incident.

3. SYNTHÈSE : LES PRINCIPALES CAUSES DE DYSFONCTIONNEMENT RECENSEES.

L'inefficacité d'un traitement de désinfection par le chlore peut avoir 2 principales origines : des lacunes dans la **conception** de l'installation ou des lacunes dans l'**exploitation** du dispositif. A cela s'ajoute la qualité de l'eau brute : il est d'autant plus difficile de produire une eau conforme aux normes de potabilité et agréable à boire que la ressource est de mauvaise qualité.

Voici présentés les principaux paramètres de dysfonctionnement recensés au cours de l'enquête. Leur importance relative est symbolisée par le nombre d'étoiles (*).

3.1. Causes de dysfonctionnement liés à l'appareillage ou à sa conception

- paramètres liés à la conception -

- *** l'installation ne comporte pas de système d'asservissement permettant une distribution de chlore proportionnelle au débit d'eau à traiter (37 % des installations visitées),
- ** le site d'injection du chlore dans le réservoir ne permet pas une répartition homogène du désinfectant dans l'eau à traiter,
- ** la conception de l'installation est telle que le temps de contact entre l'eau et le désinfectant est inférieure à 15 mn pour les premiers abonnés,
- ** le calibre du débitmètre est inadapté au débit usuel de chloration, ce qui entraîne une imprécision lors du réglage (ex : le calibre maximum du débitmètre est de 100 g/h pour un débit de chloration de quelques g/h),
- * le dispositif de chloration est situé sur une seule des sources qui alimentent un réservoir, les autres sources n'étant pas chlorées.

- difficultés de réglage des appareils de chloration -

- *** l'entartrage des tuyaux, robinets, cannes d'injection entraîne la diminution de la quantité de Javel délivrée, voire l'arrêt complet du traitement,
- ** le réglage des appareillages pour l'eau de Javel est très délicat à obtenir, ce qui se traduit par une dose de chlore injectée approximative,

- ** le débit de chlore délivré par les gouttes à gouttes n'est pas constant.
- * le vide créé par l'hydroéjecteur des chloromètres peut être insuffisant et rendre les indications de la bille du débitmètre erronées,

- Pannes ponctuelles entraînant l'arrêt complet de la désinfection -

- ** coupure d'électricité, panne de batterie,
- ** blocage de l'électrovanne en position fermée,
- * désamorçage des pompes doseuses résultant d'un dégazage des solutions de Javel,
- * rupture de la chaîne qui soutient le godet des horloges à chlore (Rq : cela a pour conséquence la vidange du bac de Javel vers l'eau à traiter entraînant une surchloration temporaire),
- * remontée d'eau et mise hors service du clapet anti-retour des chloromètres, par manque d'étanchéité.

3.2.Causes de dysfonctionnement imputables à l'exploitation ou à la maintenance des installations

- *** la dose de traitement appliquée par l'exploitant est insuffisante pour assurer une désinfection efficace,
- *** le contrôle du résiduel de chlore n'est pas effectué quotidiennement à la station et en bout de réseau,
- *** le taux de chloration n'est pas réajusté par le fontainier lorsque surviennent des variations du débit de la ressource (en l'absence d'un asservissement),

** la mise en oeuvre de l'eau de Javel comporte des lacunes qui nuisent à l'efficacité du traitement :

- conditions inappropriées de conservation des extraits entraînant la réduction du titre chlorométrique (exposition à la lumière, durée excessive de stockage),
- erreur de dilution lors de la préparation des solutions,
- emploi de comprimés d'hypochlorite de calcium à dissolution progressive pour la préparation des solutions de Javel,
- fréquence insuffisante de renouvellement du contenu du bac de Javel (fréquence supérieure à 15 jours).

** en l'absence d'un système d'alarme destiné à prévenir l'exploitant de la survenue d'une panne sur l'installation, les contrôles sur sites sont trop espacés dans le temps, si bien que les pannes sont détectées tardivement

** attente de la panne au lieu de la prévenir par des opérations d'entretien,

* toutes les précautions ne sont pas prises pour remplacer au plus vite une bouteille de chlore vide : contrôle régulier du niveau de chlore dans la bouteille, présence d'une bouteille de secours, tenu d'un historique des interventions effectuées afin d'anticiper le changement d'une bouteille.

Cette liste n'est pas exhaustive, mais elle permet de constater que la majorité des négligences et lacunes rapportées pourraient être évitées, en particulier celles qui concernent l'exploitation et la maintenance des installations. C'est précisément dans ces deux domaines que la plupart des problèmes sont rencontrés.

En outre, on s'aperçoit que la fonction de fontainier exige une réelle implication et qu'elle constitue un métier à part entière. Or, dans les petites collectivités qui exploitent elles-mêmes une installation, cette fonction est souvent considérée comme secondaire, le fontainier accomplissant également diverses autres tâches.

4. PROPOSITIONS EN TERMES TECHNIQUES ET D'ACTIONS A ENVISAGER POUR LA DDASS

Outre leur mission en matière de contrôle sanitaire des eaux, les DDASS mènent des actions de prévention et d'information auprès des partenaires concernés (élus, exploitants, administrations...). Il se dégage du bilan dressé dans l'Isère un certain nombre de priorités, qui conduisent aux propositions suivantes :

*** Améliorer la formation des fontainiers et valoriser leur fonction**

Trop souvent, les fontainiers se contentent d'exécuter les consignes de traitement qui leurs sont imposées, sans en comprendre le fondement et sans chercher à s'impliquer davantage. La notion du risque sanitaire, l'utilité de chlorer l'eau ne sont pas toujours perçus par les fontainiers, notamment dans les petites communes où l'on revendique volontiers le fait que "l'on boit l'eau depuis des générations sans pour autant être malade".

C'est pourquoi il est nécessaire de responsabiliser et de former les fontainiers, afin de leur faire prendre conscience de l'enjeu de la désinfection et de la nécessité de leur fonction .

La revalorisation de leur profession, par l'intermédiaire des Maires ou des DDASS, est une étape essentielle pour leur insuffler la volonté d'acquérir des connaissances.

Les séances de formation organisées régulièrement par la DDASS et les fiches techniques qu'elle publie, sauront alors répondre à leur désir de parfaire leurs connaissances.

*** responsabiliser et informer les élus**

Il est important que les Maires et les distributeurs d'eau prennent conscience qu'en tant que responsables de la qualité de l'eau distribuée, il leur incombe de prendre les mesures nécessaires en cas de non conformité de l'eau.

Dans les petites régies communales, où les difficultés en matière de désinfection sont majoritaires, il est essentiel de sensibiliser les élus sur l'intérêt d'un regroupement en syndicat intercommunal, de la mise en place de périmètres de protection et de l'abandon d'une ressource de médiocre qualité.

*** Inciter à la mise en place effective de périmètres de protection**

Le défaut de protection des ressources constitue une des causes fondamentales de la dégradation de l'eau. En effet, de nombreuses contaminations sont évitables par la seule réglementation des activités domestiques, agricoles et industrielles, dans le secteur concerné.

Pour cette raison, il paraît nécessaire de sensibiliser les responsables de distribution sur la nécessité d'une protection territoriale des ressources.

Cela pourrait être réalisé par le biais d'actions d'information, notamment par la diffusion de fiches techniques traitant du sujet

*** favoriser l'emploi d'un matériel de chloration adapté**

La ressource en eau dans le département de l'Isère est essentiellement composée de sources gravitaires dont le débit peut subir d'importantes variations saisonnières.

Afin que la concentration en chlore reste constante en dépit de ces variations, il est essentiel d'insister sur l'intérêt d'un asservissement entre le dispositif de chloration et le débit d'eau à traiter.

L'emploi du chlore gazeux est à encourager dans la mesure du possible, à l'inverse des gouttes-à-gouttes qu'il convient d'éviter.

La possibilité de subventionner les collectivités et de leur fournir un appui technique serait bénéfique. En effet, les capacités d'investissement des petites collectivités sont souvent limitées, et il faut tenir compte des contraintes de maintenance qu'implique tout système de traitement.

CONCLUSION

CONCLUSION

Dans le passé, le risque sanitaire lié à la consommation d'eau était très important. L'eau intervenait dans la propagation de redoutables maladies : Choléra, Typhoïde...

Un certain nombre de facteurs, dont la chloration, ont permis peu à peu d'améliorer l'état sanitaire des populations et d'enrayer la propagation par l'eau de ces maladies. Elles ont aujourd'hui disparu des pays développés, et la pathologie hydrique ne se limite plus qu' à des infections bénignes.

La qualité des eaux distribuées dans l'Isère fait l'objet d'études qui ne reflètent pas toujours l'effort qui a été entrepris pour développer la mise en place de procédés de désinfection. A cela, ce travail a permis de proposer un certain nombre d'explications qui pourront se traduire, pour la DDASS, par autant d'actions à engager.

Les priorités concernent la sensibilisation des élus et la formation du personnel d'exploitation, dont les connaissances en matière de chloration sont trop souvent insuffisantes. Or, la mise en place d'un appareil de désinfection ne suffit pas, à elle seule, à résoudre les problèmes bactériologiques rencontrés.

La situation particulière du département de l'Isère dans le domaine de l'eau (captages multiples, absence fréquente de protection, ressources vulnérables) contribue à expliquer les difficultés recensées dans ce département en matière de chloration. D'autre part, du fait de cette situation originale, le département de l'Isère ne peut être considéré comme représentatif des autres départements Français en matière de désinfection.

Si ce travail a surtout évoqué les difficultés et les problèmes relatifs à l'usage du chlore, il convient de rappeler qu'en présence d'une structure techniquement au point et à condition de respecter les quelques règles qui la régissent, la chloration reste à ce jour la plus sûre garantie d'une eau de bonne qualité microbiologique.

ANNEXES

EAUX DESTINÉES A LA CONSOMMATION HUMAINE**CODE DE LA SANTÉ PUBLIQUE****PREMIÈRE PARTIE****Livre 1er - Protection générale de la santé publique****Titre 1er - Mesures sanitaires générales****CHAPITRE 1er - RÈGLEMENTS SANITAIRES**

Article L. 1er.- Sans préjudice de l'application de législations spéciales et des pouvoirs reconnus aux autorités locales, des décrets en Conseil d'Etat, pris après consultation du Conseil supérieur d'hygiène publique de France, fixent les règles générales d'hygiène et toutes autres mesures propres à préserver la santé de l'homme, notamment en matière :

- ...
- d'alimentation en eau destinée à la consommation humaine ;
- ...

Article L. 2.- Les décrets mentionnés à l'article L. 1er peuvent être complétés par des arrêtés du représentant de l'Etat dans le département ou par des arrêtés du maire ayant pour objet d'édicter des dispositions particulières en vue d'assurer la protection de la santé publique dans le département ou la commune.

CHAPITRE III - DES EAUX POTABLES

Article L. 19.- Sans préjudice des dispositions des sections I et II au présent chapitre et de celles qui régissent les entreprises exploitant les eaux minérales, quiconque offre au public de l'eau en vue de l'alimentation humaine, à titre onéreux ou à titre gratuit et sous quelque forme que ce soit, y compris la glace alimentaire, est tenu de s'assurer que cette eau est propre à la consommation.

Est interdite pour la préparation et la conservation de toutes denrées et marchandises destinées à l'alimentation humaine l'utilisation d'eau non potable.

SECTION I.- Des distributions publiques

Article L. 20.- En vue d'assurer la protection de la qualité des eaux, l'acte portant déclaration d'utilité publique des travaux de prélèvement d'eau destinée à l'alimentation des collectivités humaines détermine autour du point de prélèvement un périmètre de protection immédiate dont les terrains sont à acquérir en pleine propriété, un périmètre de protection rapprochée à l'intérieur duquel peuvent être interdits ou réglementés toutes activités et tous dépôts ou installations de nature à nuire directement ou indirectement à la qualité des eaux et, le cas échéant, un périmètre de protection éloigné à l'intérieur duquel peuvent être réglementés les activités, installations et dépôts ci-dessus visés.

Un décret en Conseil d'Etat détermine les conditions d'application de l'alinéa précédent.

L'acte portant déclaration d'utilité publique des travaux de prélèvement d'eau destinée à l'alimentation des collectivités humaines détermine, en ce qui concerne les activités, dépôts et installations existant à la date de sa publication, les délais dans lesquels il devra être satisfait aux conditions prévues par le présent article et par le décret prévu ci-dessus.

Des actes déclaratifs d'utilité publique peuvent, dans les mêmes conditions, déterminer les périmètres de protection autour des points de prélèvements existants, ainsi qu'autour des ouvrages d'adduction à écoulement libre et des réservoirs enterrés.

Article L. 20-1.- Les indemnités qui peuvent être dues aux propriétaires ou occupants de terrains compris dans un périmètre de protection de prélèvement d'eau destinée à l'alimentation des collectivités humaines, à la suite de mesures prises pour assurer la protection de cette eau, sont fixées selon les règles applicables en matière d'expropriation pour cause d'utilité publique.

Article L. 21.- Tout concessionnaire d'une distribution d'eau potable est tenu, dans les conditions fixées par un règlement d'administration publique, de faire vérifier la qualité de l'eau qui fait l'objet de cette distribution.

Les méthodes de correction à mettre éventuellement en oeuvre doivent être approuvées par le ministre de la santé publique et de la population, sur avis motivé du conseil supérieur d'hygiène publique de France.

Article L. 22.- Si le captage et la distribution d'eau potable sont faits en régie, les obligations prévues à l'article L. 21 incombent à la collectivité intéressée avec le concours du bureau d'hygiène s'il en existe un dans la commune et sous la surveillance du directeur départemental de la santé.

Les mêmes obligations incombent aux collectivités en ce qui concerne les puits publics, sources, nappes souterraines ou superficielles ou cours d'eau servant à l'alimentation collective des habitants.

En cas d'inobservation par une collectivité des obligations énoncées au présent article, le préfet, après mise en demeure restée sans résultat, prend les mesures nécessaires. Il est procédé à ces mesures aux frais des communes.

Article L. 23.- En cas de condamnation du concessionnaire par application des dispositions de l'article L. 46, le ministre de la santé publique et de la population peut, après avoir entendu le concessionnaire et demandé l'avis du conseil municipal, prononcer la déchéance de la concession, sauf recours devant la juridiction administrative. La décision du ministre est prise après avis du conseil supérieur d'hygiène publique de France.

SECTION II.- Des distributions privées

Article L. 24.- L'embouteillage de l'eau destinée à la consommation publique ainsi que le captage et la distribution d'eau d'alimentation humaine par un réseau d'adduction privé sont soumis à l'autorisation du préfet.

Cette autorisation peut être suspendue ou retirée par le préfet dans les conditions déterminées par le règlement d'administration publique prévu à l'article L. 25-1 du présent code.

SECTION III.- Dispositions communes

Article L. 25.- Sont interdites les amenées par canaux à ciel ouvert d'eau destinée à l'alimentation humaine à l'exception de celles qui, existant à la date du 30 octobre 1935, ont fait l'objet de travaux d'aménagement garantissant que l'eau livrée est propre à la consommation.

Article L. 25-1.- Un règlement d'administration publique pris après avis du conseil supérieur d'hygiène publique de France déterminera les modalités d'application des dispositions du présent chapitre et notamment celles du contrôle de leur exécution ainsi que les conditions dans lesquelles les personnes ou entreprises visées par lesdites dispositions devront rembourser les frais de ce contrôle.

CHAPITRE VI.- DISPOSITIONS PÉNALES

Article L. 48.- Les infractions aux prescriptions des articles L. 1er à L. 7-1, L. 12, L. 14 et L. 17 à L. 40 ou des règlements pris pour leur application sont constatées par des officiers et agents de police judiciaire conformément aux dispositions du code de procédure pénale ainsi que par les inspecteurs de salubrité commissionnés à cet effet par le préfet et assermentés dans les conditions fixées par décret.

Les procès-verbaux dressés par les inspecteurs de salubrité en ce domaine font foi jusqu'à preuve contraire.

Les contraventions aux dispositions du règlement sanitaire départemental et des autres actes réglementaires, relatives à la propreté des voies et espaces publics, peuvent être également relevées par les agents spécialement habilités à constater par procès-verbaux les contraventions aux dispositions du code de la route concernant l'arrêt ou le stationnement des véhicules.

Toute personne qui met obstacle à l'accomplissement des fonctions des inspecteurs de salubrité mentionnés à l'alinéa 1er est punie, en cas de récidive, d'une amende de 2 000 F à 15 000 F.

...

CHAPITRE VII.- DISPOSITIONS DIVERSES**SECTION I.- Dépenses**

Article L. 49.- Sous réserve des compétences reconnues aux autorités municipales, le contrôle administratif et technique des règles d'hygiène relève de la compétence de l'Etat, qui en détermine les modalités et en assure l'organisation et le financement.

ARTICLE 7.- Les matériaux utilisés dans les systèmes de production ou de distribution et qui sont au contact de l'eau destinée à la consommation humaine ne doivent pas être susceptibles d'altérer la qualité de l'eau. Ils doivent répondre aux conditions définies par un arrêté pris, après avis du conseil supérieur d'hygiène publique de France, par les ministres chargés de la santé, de l'industrie, de la consommation et de la construction.

(Décret n° 91-257 du 7 mars 1991) - "Toute substance utilisée lors de la préparation des eaux destinées à la consommation humaine ne doit pas se retrouver dans les eaux mises à la disposition de l'utilisateur en concentration supérieure aux limites de qualité fixées à l'annexe I.1 ni entraîner directement ou indirectement un risque pour la santé publique."

(Décret n° 90-330 du 10 avril 1990) - "Des dispositions plus contraignantes, concernant les impuretés chimiques à caractère toxique éventuellement présentes dans de telles substances, peuvent être imposées par le ministre chargé de la santé lorsqu'il approuve les méthodes de correction prévues à l'article L.21 du code de la santé publique."

ARTICLE 8.- La vérification de la qualité de l'eau est assurée conformément au programme d'analyse d'échantillons défini à l'annexe II du présent décret.

Les lieux de prélèvement des échantillons sont déterminés par un arrêté du préfet.

ARTICLE 9.- Le préfet peut, par arrêté, et selon les modalités prévues au IV de l'annexe II, modifier le programme d'analyse des échantillons d'eau prélevés dans les installations de production et de distribution s'il estime que les conditions de protection du captage de l'eau et de fonctionnement des installations, les vérifications effectuées et la qualité de l'eau le nécessitent ou le permettent. Cette modification ne peut conduire à une augmentation du coût du programme d'analyse supérieure à 20 %.

ARTICLE 10.- Le préfet peut imposer à l'exploitant des analyses complémentaires dans les cas suivants :

- 1°) (Décret n° 90-330 du 10 avril 1990) - "La qualité des eaux destinées à la consommation humaine ne respecte pas les exigences fixées à l'annexe I.1 ou s'écarte des valeurs de référence indiquées à l'annexe I.2."
- 2°) Les limites de qualité des eaux brutes définies à l'annexe III ne sont pas satisfaites ;
- 3°) L'eau présente des signes de dégradation ;
- 4°) Une dérogation est accordée en application de l'article 3 du présent décret ;
- 5°) Certaines personnes présentent des troubles ou les symptômes d'une maladie pouvant provenir des eaux distribuées.

(Décret n° 95-363 du 5 avril 1995) - "Lorsque les matériaux mis en oeuvre dans les installations de distribution existantes et la qualité des eaux placées à leur contact sont par nature incompatibles, de telle sorte que les exigences de qualité définies au paragraphe D de l'annexe I-1 du présent décret risquent de ne pas être satisfaites, le préfet peut ordonner la réalisation d'analyses complémentaires, à la charge du ou des propriétaires desdites installations."

ARTICLE 11.- Les prélèvements d'échantillons d'eau pour la réalisation du programme d'analyse prévu aux articles 8 et 9 et pour les analyses complémentaires prévues à l'article 10 sont effectués par les agents de la direction départementale des affaires sanitaires et sociales, les agents d'un laboratoire agréé désigné par le directeur départemental des affaires sanitaires et sociales ou par les agents des services communaux ou

intercommunaux d'hygiène et de santé qui, à la date du 1er janvier 1984, exerçaient effectivement la vérification des eaux destinées à la consommation humaine.

Les frais de prélèvement sont supportés par l'exploitant, selon des tarifs et des modalités fixés par arrêté des ministres chargés de la santé, de l'économie, de la consommation et des collectivités territoriales.

ARTICLE 12.- (Décret n° 95-363 du 5 avril 1995) - "L'analyse des échantillons d'eau prélevés dans les conditions mentionnées à l'article 11 est réalisée par des laboratoires agréés. Un arrêté du ministre chargé de la santé, pris après avis du conseil supérieur d'hygiène publique de France, définit les conditions d'agrément du laboratoire, qui concernent notamment la qualification des personnels, la nature des équipements dont il dispose et les méthodes d'analyse qu'il utilise."

Ces analyses peuvent être également réalisées dans des laboratoires ayant leur siège dans un autre Etat membre de la Communauté Européenne et justifiant qu'ils possèdent des moyens et utilisent des méthodes équivalents à ceux définis par l'arrêté mentionné à l'alinéa qui précède.

Les méthodes d'analyse des échantillons d'eau doivent être soit les méthodes de référence fixées par un arrêté du ministre chargé de la santé, pris après avis du conseil supérieur d'hygiène publique de France, soit des méthodes conduisant à des résultats équivalents."

Les frais d'analyse sont supportés par l'exploitant, selon des tarifs et des modalités fixés par arrêté des ministres chargés de la santé, de l'économie, de la consommation et des collectivités territoriales.

(Décret n° 90-330 du 10 avril 1990) -

ARTICLE 13.- Les laboratoires agréés adressent les résultats des analyses auxquelles ils ont procédé au directeur départemental des affaires sanitaires et sociales et à l'exploitant.

Le directeur départemental des affaires sanitaires et sociales met à la disposition des présidents des syndicats intercommunaux et des maires concernés les résultats des analyses prévues à l'article 12.

ARTICLE 14.- Sans préjudice des vérifications prévues aux articles 8 à 12, l'exploitant est tenu de surveiller en permanence la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

L'exploitant tient à la disposition du directeur départemental des affaires sanitaires et sociales les résultats des vérifications qu'il a opérées pour surveiller la qualité des eaux ainsi que les autres informations en relation avec cette qualité.

Lorsque les résultats des vérifications font apparaître le dépassement d'une des valeurs limites fixées soit à l'annexe I.1 du présent décret, soit en application du deuxième alinéa de l'article 2, soit par arrêté de dérogation pris en application de l'article 3, ou un écart par rapport aux valeurs de référence indiquées à l'annexe I.2, l'exploitant porte immédiatement ces résultats à la connaissance du directeur départemental des affaires sanitaires et sociales. Il en va de même de tout incident pouvant avoir des conséquences pour la santé publique."

(Décret n° 91-257 du 7 mars 1991)

SECTION II - DISPOSITIONS RELATIVES AUX EAUX DOUCES SUPERFICIELLES UTILISEES OU DESTINEES A ETRE UTILISEES POUR LA PRODUCTION D'EAU DESTINEE A LA CONSOMMATION HUMAINE

ARTICLE 15.- Au sens du présent décret, ces eaux sont celles des cours d'eau, des canaux, des lacs et des étangs appartenant ou non au domaine public.

ARTICLE 16.-

I. Ces eaux doivent satisfaire aux exigences de qualité définies à l'annexe I.3 pour les eaux des groupes A1, A2 et A3 correspondant aux traitements suivants :

- A1 : traitement physique simple et désinfection ;
 A2 : traitement normal physique, chimique et désinfection ;
 A3 : traitement physique, chimique poussé, affinage et désinfection.

Un arrêté du préfet, pris après avis du conseil départemental d'hygiène, fixe les valeurs que doivent respecter les caractéristiques physiques, chimiques et microbiologiques de ces eaux pour chaque point de prélèvement. Ces valeurs ne peuvent être moins sévères que celles qui sont fixées de manière impérative dans l'annexe I.3 et elles tiennent compte des autres valeurs indiquées dans cette annexe.

II. Ces eaux sont regardées comme conformes aux exigences de qualité fixées par l'annexe I.3 lorsque sont respectées les règles suivantes :

- 1*) Les échantillons d'eau sont prélevés, avant traitement, à intervalles réguliers en un même lieu ;
- 2*) Les valeurs des paramètres sont inférieures aux valeurs limites impératives pour 95 % des échantillons et conformes aux autres valeurs de référence pour 90 % des échantillons ;
- 3*) Pour les 5 ou 10 % autres des échantillons, selon le cas :
- *a) les valeurs des paramètres ne s'écartent pas de plus de 50 % de celles fixées, exception faite pour la température, le pH, l'oxygène dissous et les paramètres microbiologiques,
 - *b) il ne peut en découler aucun danger pour la santé publique ;
 - *c) des échantillons consécutifs d'eau prélevés à une fréquence statistiquement appropriée ne s'écartent pas des valeurs qui s'y rapportent.

Les dépassements de valeurs ne sont pas pris en compte lorsqu'ils résultent d'inondations, de catastrophes naturelles ou de circonstances météorologiques exceptionnelles.

ARTICLE 17.-

I. Le préfet peut apporter des dérogations aux arrêtés mentionnés à l'article 16 ci-dessus :

- 1*) En cas d'inondations ou de catastrophes naturelles ;
- 2*) En raison de circonstances météorologiques ou géographiques exceptionnelles ;
- 3*) Lorsque les eaux superficielles subissent un enrichissement naturel en certaines substances susceptible de provoquer le dépassement des valeurs fixées dans l'annexe I.3 ; on entend par enrichissement naturel le processus par lequel une masse d'eau déterminée reçoit du sol des substances contenues dans celui-ci sans intervention de la part de l'homme ;
- 4*) Dans le cas d'eaux superficielles de lacs d'une profondeur ne dépassant pas 20 mètres, dont le renouvellement en eau prend plus d'un an et qui ne reçoivent pas d'eaux usées.

En aucun cas, ces dérogations ne peuvent être contraires à la santé publique.

II. Les dérogations prévues au I ci-dessus portent sur les valeurs des paramètres suivants :

- 1*) En ce qui concerne le 2° du I :
- coloration (après filtration simple),
 - température;
 - sulfates,
 - nitrates,
 - ammonium ;

- 2*) En ce qui concerne le 4° du I :
- demande biochimique en oxygène (DBO5) à 20° sans nitrification,
 - demande chimique en oxygène (DCO),
 - taux de saturation en oxygène dissous,
 - nitrates,
 - fer dissous,
 - manganèse,
 - phosphore.

ARTICLE 18.- Les eaux superficielles qui ont des caractéristiques physiques, chimiques et microbiologiques supérieures aux valeurs fixées à l'annexe III du présent décret ne peuvent être utilisées pour la production d'eau alimentaire. Toutefois, l'emploi d'une eau d'une telle qualité inférieure peut être exceptionnellement autorisé par le préfet en application des articles 4 et 6 du présent décret, s'il est employé un traitement approprié, y compris le mélange, permettant de ramener toutes les caractéristiques de qualité de l'eau à un niveau conforme aux exigences fixées à l'annexe I-1 du présent décret. Une telle exception doit être fondée sur un plan de gestion des ressources en eau à l'intérieur de la zone intéressée.

ARTICLE 19.- L'application des dispositions de la présente section ne peut avoir pour effet d'accroître directement ou indirectement la dégradation de la qualité actuelle des eaux superficielles."

SECTION III - DISPOSITIONS RELATIVES AUX
DISTRIBUTIONS COLLECTIVES, PUBLIQUES ET PRIVEES

ARTICLE 20.- La création et la modification d'installations collectives, publiques ou privées, d'adduction ou de distribution d'eau, l'utilisation d'eau prélevée dans le milieu naturel et réservée à l'usage personnel d'une famille, ainsi que les réseaux particuliers alimentés par une distribution publique qui peuvent présenter un risque pour la santé publique sont soumis à déclaration auprès du directeur départemental des affaires sanitaires et sociales.

Un arrêté des ministres chargés de la santé et de la construction, pris après avis du conseil supérieur d'hygiène publique de France, fixe les catégories de réseaux particuliers pour lesquels la déclaration est obligatoire.

ARTICLE 21.- Les périmètres de protection mentionnés par l'article L.20 du code de la santé publique peuvent porter sur des terrains disjoints.

(Décret n° 95-363 du 5 avril 1995) - "Les limites du périmètre de protection immédiate sont établies afin d'interdire toute introduction directe de substances polluantes dans l'eau prélevée et d'empêcher la dégradation des ouvrages."

Les terrains compris dans ce périmètre sont clôturés, sauf dérogation prévue dans l'acte déclaratif d'utilité publique et sont régulièrement entretenus. Toutes activités, installations et dépôts y sont interdits en dehors de ceux qui sont explicitement autorisés dans l'acte déclaratif d'utilité publique.

A l'intérieur du périmètre de protection rapprochée sont interdits les activités, installations et dépôts susceptibles d'entraîner une pollution de nature à rendre l'eau impropre à la consommation humaine. Les autres activités, installations et dépôts peuvent faire l'objet de prescriptions et sont soumis à une surveillance particulière, prévues dans l'acte déclaratif d'utilité

LIMITES DE QUALITE DES EAUX DESTINEES A LA CONSOMMATION HUMAINE

A) PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES

L'eau ne doit pas présenter :

- 1. Une coloration dépassant 15 mg/l de platine en référence à l'échelle Platine/Cobalt.
- 2. Une turbidité supérieure à une valeur équivalente à 2 unités JACKSON.
- 3. D'odeur, de saveur, pour un taux de dilution de 2, à 12 °C et de 3, à 25 °C.

B) PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES EN RELATION AVEC LA STRUCTURE NATURELLE DES EAUX

- 1. A l'exception des eaux ayant subi un traitement thermique pour la production d'eau chaude, la température ne doit pas dépasser 25 °C.
- 2. Le pH doit être supérieur ou égal à 6,5 unités pH et inférieur ou égal à 9 unités pH ; cette obligation ne s'applique pas aux eaux conditionnées non minérales.
- 3. Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après :
 - chlorures 200 mg/l (Cl)
 - sulfates 250 mg/l (SO₄)
 - magnésium 50 mg/l (Mg)
 - sodium 150 mg/l (Na)
 - avec un percentile de 80
 - potassium 12 mg/l (K)
 - aluminium total 0,2 mg/l (Al)
 (A l'exception des eaux ayant subi un traitement thermique pour la production d'eau chaude, pour lesquelles la valeur de 0,5 mg/l (Al) ne doit pas être dépassée.)
- 4. La quantité de résidus secs, après dessiccation à 180 °C, doit être inférieure ou égale à 1 500 mg/l.

C) PARAMETRES CONCERNANT DES SUBSTANCES INDESIRABLES

- 1. Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après :
 - nitrates 50 mg/l (NO₃)
 - nitrites 0,1 mg/l (NO₂)
 - ammonium 0,5 mg/l (NH₄)
 - azote Kjeldahl 1 mg/l (en N)
 - N de NO₃ et NO₂ exclus
- 2. L'oxydabilité au permanganate de potassium (KMnO₄), mesurée après 10 minutes en milieu acide, à chaud, doit être inférieure ou égale à 5 mg/l en oxygène.
- 3. La teneur en hydrogène sulfuré doit être telle que ce composé ne soit pas détectable organoleptiquement.
- 4. La valeur de la concentration en hydrocarbures dissous ou émulsionnés, après extraction au CCl₄, doit être inférieure à 10 microgrammes par litre.
- 5. La teneur en phénols doit être telle que les composés ne soient pas détectables organoleptiquement après ajout de chlore. En cas de détection, la concentration en phénols, exprimés en indice phénol C₆H₅OH, doit être inférieure ou égale à 0,5 µg/l, les phénols naturels ne réagissant pas au chlore étant exclus.
- 6. Pour les substances suivantes, les valeurs de concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après :
 - agents de surface réagissant au bleu de méthylène ... 200 µg/l (exprimés en lauryl-sulfate)
 - fer 200 µg/l (Fe)
 - manganèse 50 µg/l (Mn)
 - cuivre 1 mg/l (Cu)
 - zinc 5 mg/l (Zn)
 - phosphore 5 mg/l (P₂O₅)
 - argent 10 µg/l (Ag)

7. La teneur en fluor doit être inférieure à 1 500 microgrammes par litre (F) pour une température moyenne de l'aire géographique considérée comprise entre 8 °C et 12 °C et à 700 microgrammes par litre

(F) pour une température moyenne de l'aire géographique considérée comprise entre 25 °C et 30 °C. Pour les températures moyennes comprises entre 12 °C et 25 °C, la teneur limite en fluor est calculée par interpolation linéaire.

D) PARAMETRES CONCERNANT DES SUBSTANCES TOXIQUES

Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées :

- arsenic 50 µg/l (As)
- cadmium 5 µg/l (Cd)
- cyanures 50 µg/l (CN)
- chrome total 50 µg/l (Cr)
- mercure 1 µg/l (Hg)
- nickel 50 µg/l (Ni)
- plomb 50 µg/l (Pb)
- antimoine 10 µg/l (Sb)
- sélénium 10 µg/l (Se)
- hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A.) :
 - * pour le total des 6 substances suivantes : 0,2 µg/l
 - 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 0,01 µg/l

E) PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES

- 1. L'eau ne doit pas contenir d'organismes pathogènes, en particulier de salmonelles dans 5 litres d'eau prélevée, de staphylocoques pathogènes dans 100 millilitres d'eau prélevée, de bactériophages fécaux dans 50 millilitres d'eau prélevée et d'entérovirus dans un volume ramené à 10 litres d'eau prélevée.
 - 2. 95% au moins des échantillons prélevés ne doivent pas contenir de coliformes dans 100 millilitres d'eau.
 - 3. L'eau ne doit pas contenir de coliformes thermotolérants et de streptocoques fécaux, dans 100 millilitres d'eau prélevée.
 - 4. L'eau ne doit pas contenir plus d'une spore de bactéries anaérobies sulfito-réductrices par 20 millilitres d'eau prélevée.
 - 5. Lorsque les eaux sont livrées sous forme conditionnée, le dénombrement des bactéries aérobies revivifiables, à 37 °C et après 24 heures, doit être inférieur ou égal à 20 par millilitre d'eau prélevée ; à 22 °C et après 72 heures, il doit être inférieur ou égal à 100 par millilitre d'eau prélevée. L'analyse est commencée dans les 12 heures suivant le conditionnement.
- (Décret n° 95-363 du 5 avril 1995)
- *6. Lorsque les eaux sont livrées sous forme conditionnée, l'eau ne doit pas contenir de Pseudomonas aeruginosa dans 100 millilitres."

(Décret n° 90-330 du 10 avril 1990) -

"F) PESTICIDES ET PRODUITS APPARENTES

Pour les insecticides organochlorés persistants, organophosphorés et carbamates, les herbicides, les fongicides, les P.C.B. et P.C.T., les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après :

- a) par substance individualisée 0,1 µg/l à l'exception des substances suivantes :
 - aldrine et dieldrine 0,03 µg/l (Décret n° 95-363 du 5 avril 1995)
 - * - Heptachlore et epoxyde d'heptachlore 0,03 µg/l
- b) pour le total des substances mesurées 0,5 µg/l

(Décret n° 95-363 du 5 avril 1995)

"G) PARAMETRES CONCERNANT LES EAUX ADOUCIES LIVREES A LA CONSOMMATION HUMAINE

Les eaux adoucies livrées à la consommation humaine doivent satisfaire, en outre, aux exigences suivantes :

- 1. La dureté totale ne doit pas être inférieure à 15 degrés français.
- 2. L'alcalinité ne doit pas être inférieure à 2,5 degrés français.

Ces dispositions ne sont pas applicables aux eaux adoucies ayant subi un traitement thermique pour la production d'eau chaude."

Groupes de paramètres	Paramètres	A 1		A 2		A 3	
		G	I	G	I	G	I
Paramètres microbiologiques	Coliformes totaux 37°C (100 ml)	50		5000		50000	
	Coliformes thermo-tolérants (100 ml)	20		2000		20000	
	Streptocoques fécaux (100 ml)	20		1000		10000	
	Salmonelles	Absence dans 5000 ml		Absence dans 1000 ml			

- ANNEXE II -

PROGRAMMES D'ANALYSE DES ECHANTILLONS D'EAU

La présente annexe fixe les programmes d'analyses d'échantillons, pour les eaux distribuées par un réseau collectif public ou privé (I), les eaux conditionnées et la glace alimentaire (II) et les eaux utilisées dans les industries alimentaires (III) ainsi que les modalités d'adaptation du programme d'analyse (IV).

I - EAU DISTRIBUEES PAR UN RESEAU COLLECTIF PUBLIC OU PRIVE

A - CONTENU DES ANALYSES

Tableau 1 - ANALYSES BACTERIOLOGIQUES

ANALYSES BACTERIOLOGIQUES		
Réduite (B 1)	Sommaire (B 2)	Complète (B 3)
Coliformes thermotolérants Streptocoques fécaux	Coliformes thermotolérants Streptocoques fécaux Dénombrement des bactéries aérobies revivifiables à 22 ° C et 37 ° C	Coliformes thermotolérants Streptocoques fécaux - Coliformes Dénombrement des bactéries aérobies revivifiables à 22 ° C et 37 ° C Spores de bactéries anaérobies sulfitoréductrices

Tableau 2 - ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES							
	Analyse physico-chimique réduite (C1)	Analyse physico-chimique sommaire (C2)	Analyse physico-chimique complète (C3)	Analyses physico-chimiques particulières (C4)			
				C4a	C4b	C4c	C4d
PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES	- Aspect (qualitatif) : odeur, saveur, couleur - Turbidité	- Aspect (qualitatif) : odeur, saveur, couleur - Turbidité	- Aspect (quantitatif) : odeur, saveur, couleur - Turbidité				

ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

	Analyse physico-chimique réduite (C1)	Analyse physico-chimique sommaire (C2)	Analyse physico-chimique complète (C3)	Analyses physico-chimiques particulières (C4)			
				C4a	C4b	C4c	C4d
PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES LIES A LA STRUCTURE NATURELLE DES EAUX	- pH - conductivité	- température - pH - conductivité	- température - pH - conductivité - chlorures - sulfates - silice - calcium - magnésium - sodium - potassium - aluminium - résidus secs - oxygène dissous - anhydride carbonique libre (essai au marbre) ou calcul de l'équilibre calcocarbonique - carbonates - hydrogénéocarbonates				- matières totales en suspension (MES) - demande chimique en oxygène (DCO) - demande biochimique en oxygène dissous (DBO ₅)
PARAMETRES CONCERNANT LES SUBSTANCES INDESIRABLES	- chlore résiduel ou tout autre paramètre représentatif du traitement de désinfection	- nitrates - nitrites - ammonium - 2 paramètres parmi les paramètres suivants : chlorures, sulfates, oxydabilité au KMnO ₄ ou carbone organique total, titre alcalimétrique complet ou dureté totale - chlore résiduel ou tout autre paramètre représentatif du traitement de désinfection	- nitrates - nitrites - ammonium - oxydabilité au KMnO ₄ , à chaud, en milieu acide - hydrogène sulfuré - fer - cuivre - zinc - manganèse - phosphore - fluor - chlore résiduel ou tout autre paramètre représentatif du traitement de désinfection	- azote Kjeldhal - hydrocarbures dissous - agents de surface - indice phénol			- bore - baryum - substances extractibles au chloroforme
PARAMETRES CONCERNANT LES SUBSTANCES TOXIQUES					- cadmium - plomb - H.P.A.	- arsenic - cyanures - chrome - mercure - sélénium	
AUTRES PARAMETRES						- pesticides - composés organohalogénés volatils	

B - FREQUENCE DES PRELEVEMENTS D'EAU A ANALYSER

(Décret n° 91-257 du 7 mars 1991) - "1°) Le tableau 3 précise le type d'analyses à effectuer selon que les échantillons d'eau ont été prélevés dans la ressource (R), dans l'eau, traitée ou non, avant son refoulement dans le réseau de distribution (P) ou dans le réseau de distribution (D).

Le tableau 4 indique la fréquence des prélèvements d'échantillons d'eau à effectuer chaque année dans la ressource (R.P., R.S.) et dans l'eau avant son refoulement dans le réseau de distribution (P1, P2P, P2S, P3) selon le débit journalier de l'eau.

Le tableau 5 indique la fréquence de ces prélèvements dans l'eau distribuée aux consommateurs selon la population desservie par le réseau et selon que l'eau est désinfectée ou non. Lorsqu'un réseau de distribution dessert plusieurs communes, le nombre des analyses à effectuer doit être au moins égal à celui correspondant à la population des communes desservies par le réseau sans être inférieur au nombre des communes desservies ;

2°) Lorsque la valeur de certains paramètres figurant dans les analyses-types R et P est susceptible d'être modifiée en cours de distribution, les prélèvements d'échantillons d'eau peuvent être réalisés dans le réseau de distribution."

Tableau 3 - ANALYSES TYPES

EMPLACEMENT	RESSOURCE		PRODUCTION				DISTRIBUTION
	Au point de puisage, avant traitement (R)		Après traitement et avant refoulement ou au point de puisage en l'absence de traitement (P)				En réseau
Origine de l'eau	(R.P.) Eaux souterraines	(R.S.) Eaux superficielles	(P 1) Eaux souterraines et eaux superficielles	(P 2) Eaux souterraines (P2P) Eaux superficielles (P2S)		(P 3) Eaux souterraines et eaux superficielles	(D) Eaux souterraines et eaux superficielles
	ANALYSES TYPES	B 1 - - - C 3 - C 4 b - -	B 1 - - - C 3 C 4 a C 4 b C 4 c C 4 d	- - B 3 - C 2 - - -	- - - - C 3 - - -	- - - - C 3 C 4 a - -	- - - - - C 4 a - C 4 c -

Tableau 4 - FREQUENCES ANNUELLES D'ANALYSE (ECHANTILLONS PRELEVES A LA RESSOURCE ET EN USINE)

DEBIT JOURNALIER (m ³ /jour)	FREQUENCES ANNUELLES D'ECHANTILLONNAGE					
	R.P.	R.S.	P 1	P 2 P	P 2 S	P 3
Inférieur à 100	-	-	1	-	-	-
De 100 à 399	1/2	2	2,5	1/2	1	1/5
De 400 à 999	1/2	2	2,5	1/2	1	1/5
De 1 000 à 1 999	1/2	2	3,5	1/2	1	1/5
De 2 000 à 5 999	1	3	7	1	1	1/2
De 6 000 à 9 999	2	6	8	1	1	1/2
De 10 000 à 19 999	2	6	14	2	2	1
De 20 000 à 29 999	4	12	22	3	3	1
De 30 000 à 59 999	4	12	42	6	6	1
De 60 000 à 99 999	4	12	70	10	10	1
Supérieur ou égal à 100 000	4	12	140	20	20	1

(Décret n° 91-527 du 7 mars 1991) - "Nota -

1°) En ce qui concerne les eaux superficielles de la ressource (R.S.), outre les analyses bactériologiques (B1), il est procédé :

- a) à une recherche annuelle de salmonelles (dans cinq litres d'eau),
- b) à une recherche de coliformes dans les conditions suivantes :
 - ba - une fois par an pour un débit inférieur à 6 000 m³/jour,
 - bb - deux fois par an pour un débit compris entre 6 000 m³/jour et 20 000 m³/jour,
 - bc - quatre fois par an pour un débit supérieur à 20 000 m³/jour ;

2°) En ce qui concerne les analyses microbiologiques, les chiffres de la colonne P1 sont doublés lorsque les eaux sont désinfectées."

Tableau 7 - ANALYSES-TYPES ET FREQUENCES D'ECHANTILLONNAGE ANNUELLES

Analyses types	Analyse bactériologique complète (B3) Analyses physico-chimique sommaire (C2)	Analyses physico-chimique complète (C3) Analyses physico-chimiques particulières (C4a, C4b, C4c)
Fréquences annuelles d'échantillonnage	Les fréquences annuelles d'échantillonnage sont identiques à celles prévues pour les analyses effectuées sur les ressources alimentant les réseaux d'adduction (tableau 4) ; elles ne peuvent être inférieures à celles indiquées ci-dessous :	
Fréquences minimales	3	1

IV - ADAPTATION DU PROGRAMME

Pour l'application de l'article 9 du présent décret, le programme d'analyse peut être modifié dans les conditions suivantes :

1. A coût égal de réalisation du programme d'analyses, la nature et la fréquence des paramètres analysés peuvent être modifiées.
2. a) Pour les eaux d'origine superficielle, les fréquences d'échantillonnage peuvent être réduites d'un facteur 2 à l'exception de celles concernant les analyses bactériologiques ;
b) Pour les eaux souterraines ou profondes, les fréquences d'échantillonnage peuvent être réduites d'un facteur 4.
3. Le programme peut comprendre des analyses supplémentaires dont le coût ne conduit pas à un dépassement supérieur à 20 % du programme d'analyse établi selon les modalités prévues aux tableaux 1 et 2 de la présente annexe.

- ANNEXE III -

LIMITES DE QUALITE DES EAUX BRUTES UTILISEES
POUR LA PRODUCTION D'EAU DESTINEE A LA CONSOMMATION HUMAINE

1. Paramètres organoleptiques.

Coloration après filtration dépassant 200 mg/l de platine en référence à l'échelle platine/cobalt.

2. Paramètres en relation avec la structure naturelle des eaux.

1. Température de l'eau supérieure à 25 °C.
2. Pour les substances suivantes, valeurs des concentrations supérieures aux valeurs ci-après :
a) Chlorures 200 mg/l (Cl)
b) Sulfates 250 mg/l (SO₄)
3. Pour les eaux superficielles, pourcentage d'oxygène dissous inférieur à 30 % de la valeur de saturation.

3. Paramètres concernant des substances indésirables.

Pour les substances suivantes, valeurs des concentrations supérieures aux valeurs ci-après :

1. Nitrates 50 mg/l (NO₃)
pour les eaux superficielles
..... 100 mg/l (NO₃)
pour les autres eaux
2. Ammonium 4 mg/l (NH₄)
3. Oxydabilité (KMnO₄) en milieu acide 10 mg/l (O₂)
4. Phénols (indice phénol) para nitraniline
et 4 amino-antipyrine 0,1 mg/l (C₆H₅OH)
5. Agents de surface (réagissant au bleu de méthylène) 0,5 mg/l
(lauryl-sulfate)
6. Hydrocarbures dissous émulsionnés après extraction au tétrachlorure de carbone 1 mg/l
7. Zinc 5 mg/l (Zn)
8. Baryum 1 mg/l (Ba)
pour les eaux superficielles

4. Paramètres concernant des substances toxiques

Pour les substances suivantes, valeurs de concentrations supérieures aux valeurs ci-après :

1. Arsenic 100 µg/l (As)
2. Cadmium 5 µg/l (Cd)
3. Cyanures 50 µg/l (CN)
4. Chrome total 50 µg/l (Cr)
5. Mercure 1 µg/l (Hg)
6. Plomb 50 µg/l (Pb)
7. Sélénium 10 µg/l (Se)
8. Pesticides pour le total des trois substances suivantes
(parathion, HCH, dieldrine) 5 µg/l
9. Hydrocarbures polycycliques aromatiques :
Pour le total des six substances suivantes : 1 µg/l
Fluoranthène
Benzo (3,4) fluoranthène
Benzo (11,12) fluoranthène
Benzo (3,4) pyrène
Benzo (1,12) pérylène
Indéno (1, 2, 3-cd) pyrène

5. Paramètres microbiologiques

Eau contenant plus de 20 000 coliformes thermotolérants et plus de 10 000 streptocoques fécaux par 100 millilitres d'eau prélevée.

PRELIMINAIRE

(consultation dossiers DDASS)

DESCRIPTION DE LA RESSOURCE

-collectivité:

-code UD:

-nom de l' UD:

-exploitant: -société fermière
 -commune
 -autre

-nature: -source gravitaire
 -forage
 -puit
 -autre

BILAN EAU BRUTE

-pH moyen: <7.5
 7.5 < 8.5
 >8.5

-dureté: <15 °f
 >15 °f

-turbidité: < 2 NTU
 2 < 5 NTU
 > 5 NTU

-couleur: < 10 mg/l de pt
 10 < 15
 >15

-bactériologie:

-nbre d' analyses sur une période de 5 ans:

-nbre d'analyses non conformes:

==>taux de conformité avant traitement:

au vu des analyses, les dépassements semblent :

constants:

occasionnels:

-débit à traiter: -Q de pointe: (sinon qq relevés de compteur):
 -Q moyen:

-asservissement: NON
 OUI
 -sur débit -sur résiduel de chlore -les deux:

-système d'alarme: NON
 OUI
 -transfert d'alarme: NON
 OUI
 -description:

-énergie utilisée: -ligne électrique
 -batterie électrique
 -panneaux solaire
 -hydraulique

CHLORATION

-chlore gazeux:
 -javel extrait (48 °):
 diluée:

-débit de chloration:

-dose de traitement au point d'injection: < 0.2 mg/l
 0.2 < < 0.5 mg/l
 > 0.5 mg/l

-lieu de l'injection: -sur adduction
 -dans forage
 -dans réservoir
 -sur distribution (compléter schéma)



- temps de contact minimum estimé: < 15 mn
 > 15 mn

si non communiqué: compléter tab.:

injection dans réservoir ou à l'entrée: <input type="checkbox"/>	alors temps de contact jugé suffisant
--	---------------------------------------

injection en distribution: <input type="checkbox"/>	-diam. conduites: -débit de pointe: -distance pt d'injection/1er abonné: TC= résultats: TC <15 mn <input type="checkbox"/> TC >15 mn <input type="checkbox"/>
---	---

- valeur résiduel de chlore d' après l' interlocuteur:
 -en sortie de réservoir ou 1er abonné:
 -en bout de réseau:
 -nsp

- contrôle résiduel de chlore: -matériel présent sur place: oui
 non

-fréquence: fois/semaine

- méthode: -DPD
 -orthotolidine
 -autre

- lieu: -à la station
 -sur réseau
 -bout de réseau
 -nsp

MAINTENANCE , EXPLOITATION

1) SI JAVEL:

eau de dilution	-eau brute <input type="checkbox"/> -eau adoucie sur place <input type="checkbox"/> -eau adoucie achetée <input type="checkbox"/>
contrôle concentration extrait	-oui <input type="checkbox"/> -non <input type="checkbox"/>
existe-il un protocole de mise en oeuvre	- oui <input type="checkbox"/> - non <input type="checkbox"/>
fréquence de renouvellement de la sol° diluée	- < 15 jours <input type="checkbox"/> - > 15 jours <input type="checkbox"/>
fréquence d'achat /an
quantité	
temps de stockage	
lieu de stockage	-constamment à l'abris de la lumière -oui <input type="checkbox"/> -non <input type="checkbox"/>
réceptif	-opaque <input type="checkbox"/> -non opaque <input type="checkbox"/>
durée d' autonomie du bac de javel	

2) SI CHLORE GAZEUX

-existe t-il un stock de matériel de rechange (joints de plomb, coton minéral...)

oui

non

3) INTERVENANT

maintenance courante: -employé communal installateur
-fontainier autre
-fermier

4) MAINTENANCE PROPREMENT DITE

fréquence	
nature des opérations	
temps accordé à la maintenance	

LISTE DES INCIDENTS CONNUS DE L'EXPLOITANT DEPUIS LA MISE EN SERVICE

date	type de l'incident	a nécessité l'intervention d'un agent externe	délai entre panne et réparation	solution apportée
		-oui <input type="checkbox"/> -non <input type="checkbox"/>		
		-oui <input type="checkbox"/> -non <input type="checkbox"/>		
		-oui <input type="checkbox"/> -non <input type="checkbox"/>		
		-oui <input type="checkbox"/> -non <input type="checkbox"/>		
		-oui <input type="checkbox"/> -non <input type="checkbox"/>		

idem à partir des résultats d'analyse négatifs:

date de l'incident		

QUESTIONS OUVERTES

-avis sur utilité du traitement:

-avis sur le type de traitement (fiabilité, efficacité, facilité d'emploi, autonomie...):

-idées sur les améliorations possibles:

-problème du goût: plaintes des abonnés: -rarement
 -parfois
 -souvent

IMPRESSIONS GENERALES

compétence faible
 moyenne
 bonne

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A.G.H.T.M.
Faut-il maintenir une désinfection résiduelle dans les réseaux de distribution d'eau ?
Synthèse des communications exposées au cours de la journée du 13 Juin 1991 à l'institut Pasteur de Lyon , Département d'hygiène appliquée à l'homme et à son environnement, 117 p.
- [2] AUPIC M.C.
Traitement de l'eau et comportement du consommateur
Thèse Méd. Dijon. 1985, 74 p.
- [3] BAYLET R., SINEGRE F., KRIM S.
Etude de la résistance au chlore des Salmonella isolées des eaux d'alimentation.
Tech. Sci. Munic. L'eau, 1981, 3 : 163 - 165
- [4] CALVERT CHURN C., BATES R.C. BOARDMAN G.D.
Mechanism of chlorine Inactivation od DNA containing Parvovirus H.1
Appl.Envir. Microbiol., 1983, 46, (6) : 1394 - 1402
- [5] CANTOR K.P., HOOVER R., HARTGEL P., MASON T.J., SILVERMAN D.
Blader cancer, tap water consumption and drinking water source.
In : Water chlorination , JOLLY R.L., BRUNGS W.A., CUMMINGS R.B,
Eds. Lewis publish., Chelsea, Mich., 1990, USA, Vol.6 : 411 - 419
- [6] CHANG S.L., BERG G., CLARKE N.A., KABLER R.W.
Survival and protection against chlorination of human enteric pathogens in free-living nematodes isolated from water supplies.
Am. J. Trop. Med. and Hyg., 9 : 136 - 142
- [7] CHEVAL A.
La désinfection des eaux de consommation
AFEE, Centre National pour l'étude des eaux, 1982, 117 p.

- [8] CLIVER D.O.
Significance of water and environment in the transmission of virus disease.
In "Enteric viruses in water", MELNICK J.L.
Monog. Virol., 1985, 15 : 30 - 42
- [9] COLLIN J.F., MELET J.J., MORLOT M., FOLIGUET J.M.
Eau d'adduction publique et gastro-entérites en Meurthe et Moselle.
Journal Français d'hydrologie, 1981, fasc.2, 35 : 155 - 174
- [10] COLLIN J.F.
Effets de la qualité bactériologique des eaux potables sur la santé. Résultat de trois études épidémiologiques menées dans les départements de la Moselle, de l'Isère, de la Savoie et de la haute Savoie.
Thèse de doctorat d'état ès sciences pharmaceutiques, 1986,
Faculté des sciences pharmaceutiques et biologiques, Université de Nancy I.
- [11] COLLIN J.F., AUPIC M.C., CHERRIER M., BOULANGE M.
Influence de la chloration de l'eau sur le comportement des usagers
Water Supply, 1986, 3, vol.4 : 173 -182
- [12] COMMUNICABLE DISEASE REPPORT.
Great Britain Surveillance,
Community Medecine, 1984, 6 : 238 - 241.
- [13] CRAUN G.F.
Outbreaks of waterborne disease in the United States (1971-1978)
J. Am. Water Works Assoc., 1981, 80: 360 - 367.
- [14] CRAUN G.F.
Waterborne disease.
C.R.C. Press, 1986.

- [15] CRAUN G.F., MC GABEL J., HUGUES J. M.
Waterborne disease outbreaks in the United States (1971-1974)
J. Am. Water Works Assoc., 1976, 68 : 420 - 424.
- [16] DANIEL F.B., RINGHAND H.P., ROBINSON M., STOBER J.A., OLSON G.R.
PAGE N.P.
Comparative subchronic toxicity of chlorine and monochloramine in the
B6C3F1 mouse.
JAWWA, 1991, 93, (11) : 68 - 75
- [17] DEETZ R., SMITH E.H., GOYAL S.M., GERBA C.P., VOLLET J.J., TSAI L.,
DUPONT H.L., KESWICK B.H.
Occurrence of rota and enteroviruses in drinking and environmental waters
in a developing nation.
Water res., 18 : 567 - 572
- [18] DERREUMAUX A.L., JADIN J.B., WILLAERT E., MORET R.
Action du chlore sur les amibes de l'eau.
Ann. Soc. Belge Med. Trop., 1974, 54 : 415 - 428
- [19] DUCHEMIN J.
Epidémie hydrique : une Shigelle dans l'eau potable.
B.E.H, nov. 1993, 45 : 205 - 206
- [20] ENGELBRECHT R. S., WEBER M.J., SALTER B.L., SCHMIDT C.A.
Comparative Inactivation of Viruses by Chlorine.
Appl. Envir. Microbiol., 1980, vol. 40, 2 : 249 - 256
- [21] EVINS C., GREAVES G.F.
Penetration of water treatment works by animals.
Water research centre (W.R.C), TR 115, april : 1 - 33
- [22] FAURIS C., DANGLLOT C., VILAGINES R.
Inactivation of viruses by disinfection methods
IWSA-AIDE, Atelier Internat : Desinfection eau, Mulhouse,
France , 1986 : 9 - 31

- [23] FESTY B.
In "Survey of virus isolation data from environmental samples".
BITTON G. et al. Eds., Health effects research laboratory. U.S.
Environmental Protection Agency. Cincinnati, OH.
- [24] FONDATION DE L'EAU
La chloration des eaux - Principe, exploitation et maintenance des
installations.
Direction de l'eau et de la prévention des pollutions et des risques. Cahier
technique n° 10
- [25] GUTTMAN-BASS N., FATTAL B.
Analysis of tap water for viruses : Results of a survey.
Wat. Sci. Tech., 1985, 17 : 89 - 94
- [26] HAAS C.N., ENGELBRECHT R.S.
Physiological alterations of vegetatives microorganismes resulting from
chlorination
J. W. P. C. F., 1980, 52 : 1976 - 1989
- [27] HARRIS J.R., COHEN M.L., LIPPI E.L.
Water related disease outbreaks in the United States (1981)
J. Infect. Diseases, 1983, 148 : 759 -764.
- [28] HAUCHMAN F.S., NOSS C.I., OLIVIERI V.P.
Chlorine dioxide reactivity with Nucleic Acids
Wat. Res., 1986, 20, (3) : 357 - 361
- [29] HEJKAL T. W., KESWICK B., LA BELLE R., GERBA C.P., SANCHEZ Y.,
DREESMAN G., HAFKIN B., MELNICK J.L.
Viruses in a community water supply associated with an outbreak of
gastro-enteritis and infectious hepatitis.
J. Am. Water Works Assoc., 1982, 74 : 318 - 321
- [30] JAMES M. VAUGHN, YU-SHIAW CHEN, Mc HARRELL Z. THOMAS
Inactivation of Human and Simian Rotaviruses by Chlorine.
Appl. Envir. Microbiol., 1986, vol.51, 2 : 391 - 394

- [31] JENSEN H., THOMAS K., SHARP D.G.
Inactivation of Coxsackievirus B3 and B5 in Water by Chlorine.
Appl. Envir. Microbiol., 1980, vol.40, 3 : 633 - 640
- [32] KANEKO M., IGARASHI H.
Effects of suspended solids on inactivation of poliovirus by chlorine.
Wat. Sci. Tech., 1983, 15 : 137 - 143
- [33] KESWICK B.H., GERBA C.P., DUPONT H.L., ROSE J.B.
Detection of enteric viruses in treated drinking water.
Appl. Environ. Microbiol., 1984, 47 : 1290 - 1294
- [34] LECLERC H., FESTY B., LAZAR P.
Connaissances actuelles de la pathologie hydrique
Rev. Epidém. et Santé , 1982, 30 : 363 - 385.
- [35] LECLERC H., HASLAY C.
Microbiologie des eaux et des aliments.
Ed. Lavoisier Tec. et Doc., 1993, 495 p.
- [36] LECLERC H., MOSSEL D.A.A.
Microbiologie - le tube digestif, l'eau et les aliments
Ed. DOIN, 1989, 529 P.
- [37] LIU O.C., SERAICHEKAS H.R., AKIM E.W., BRASHEAR D.A., KATZ E.L.,
HILL W.J.
Relative resistance of Twenty Human Enteric Viruses to free Chlorine in
potomac Water.
In proceedings 13 th Water quality Conference, Virus and Water Quality:
Occurence and control, University of Illinois, Bulletin N° 69 , Urbana, 1971
171-195.
- [38] MC FETERS G.A., CAMPER A.K.
Enumeration of bacteria exposed lo chlorine
Adv. Appli. Microbiol., 1983, 29: 177 - 193

- [39] MARTIN J. BLASER, PAUL F. SMITH, WEN-LAN L., WANG, JOHN C. HOFF
Inactivation of *Campylobacter* *Jejuni* by chlorine and monochloramine.
Appl. Envir. Microbiol., 1986, vol. 51, 2 : 307 - 311
- [40] MARCHAND M.
La contamination des eaux continentales par les micro-polluants organiques.
Revue des sciences de l'eau, 1989, 2 : 229 - 264
- [41] MARZOUK Y., GOYAL S.M., GERBA C.P.
Relationship of viruses and indicator bacteria in water and wastewater of Israël.
Water Res., 1980, 14 : 1585 - 1590
- [42] MINISTERE CHARGE DE LA SANTE
Les eaux d'alimentation : La désinfection des eaux par le chlore.
DDASS, Fiche technique n°3
- [43] MINISTERE CHARGE DE LA SANTE
Les eaux d'alimentation : Les périmètres de protection.
DDASS, Fiche technique n°4
- [44] MINISTERE CHARGE DE LA SANTE
Les eaux d'alimentation : Surveillance de la qualité et nouvelles dispositions.
DDASS, Fiche technique n°1
- [45] MINISTERE CHARGE DE LA SANTE
Qualité des eaux d'alimentation dans le département de l'isère.
DDASS de l'isère, 1989, 32 p.
- [46] MOSSEL A.A.
Assurance et contrôle de la salubrité microbiologique des repas.
Deuxième colloque sur l'hygiène et la désinfection dans l'hôpital Goldschmidt. 1977.

- [47] OFFICE INTERNATIONALE DE L'EAU
L'eau potable en zone rurale : Adaptation et modernisation des filières de traitement.
FNDAE, Février 1992, 80 p.
- [48] ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE
La désinfection par le chlore.
Bureau régional de l'Europe, 1995, 21 p.
- [49] PAYMENT P., TRUDEL M.
Immunoperoxydase method with human immune serum globulin for broad-spectrum detection of cultivable viruses in environmental sample.
Appl. Envir. Microbiol., 1985, 50 : 1308 - 1310
- [50] PAYMENT P., TREMBLAY M., TRUDEL M.
Relative Resistance to Chlorine of Poliovirus and Coxsackievirus Isolates from Environmental Sources and Drinking Water.
Appl. Envir. Microbiol., 1985, vol. 49, 4 : 981 - 983
- [51] PAYMENT P., TRUDEL M., PLANTE R.
Elimination of Viruses and Indicator Bacteria at Each Step of Treatment during Preparation of Drinking Water at Seven Water Treatment Plants.
Appl. Envir. Microbiol., 1985, vol. 49, 6: 1418 - 1428
- [52] PENVERNE Y., LAFARGUE G.
La désinfection des réseaux d'eau potable.
Chaud - Froid - Plomberie, n° 463
- [53] PETERSON D. A., HURLEY T.R., HOFF J.C., WOLFE L. G.
Effect of Chlorine Treatment on Infectivity of Hepatitis A Virus.
Appl. Envir. Microbiol., 1983, vol. 45, 1 : 223 - 227
- [54] ROY D., WONG P.K.Y., ENGELBRECHT R.S., CHIAN E.S.K.
Mechanism of enteroviral inactivation.
Appl. Envir. Microbiol., 1981, 41, (3) : 718 - 723

- [55] SAUNIER EAU ET ENVIRONNEMENT
La contamination des réseaux d'eaux potables.
Avril 1985, 112 p.
- [56] SAUNIER EAU ET ENVIRONNEMENT
Définition des caractéristiques techniques de fonctionnement et domaine
d'emploi des appareils de désinfection . Manuel pratique.
Février 1986, 2 , 75 p.
- [57] SCHWARTZBROD L.
Virologie des milieux hydriques.
1991, Ed. Tec et Doc, Lavoisier, 303 p.
- [58] SCHWARTZBROD L., VILAGINES P.H., SCHWARTZBROD J., SARETTE
B., VILAGINE R., COLLOMB J.
Evaluation of the viral population in two wastewater treatment plants, study
by different sampling techniques.
Water res., 1985, 11 : 1353 - 1356
- [59] SEKLA L., STACKIW W., KAY C., VAN BUCKENHOUT L.
Enteric viruses in renovated water in Manitoba.
Can. J. Microbiol., 1980, 26 : 518 - 523
- [60] SINEGRE F., BAYLET R., CHAPAT M.
Salmonella isolées des eaux d'alimentation.
Rev. Epidém., Méd. soc. et Santé Publ., 1975, t. 23, 7-8 : 469 - 474
- [61] SLADE J.S.
Viruses and bacteria in a chalk well.
Wat. Sci.Tech., 1984, 17 : 111 - 121
- [62] SMITH et Al.
An outbreak of waterborne cryptosporidiosis caused by post treatment
contamination.
Epidem. Inf., 1989, 103 : 703 - 715

- [63] SNOW J.
On the mode of communication of cholera.
1 vol., 2nd Ed., John Churchill, London, 1855. Reproduced in : Snow on cholera, The Commonwealth Fund, New-York, 1936.
- [64] TAYLOR J.M.
Viruses in fresh and saline waters. In "viruses and disinfection of water and wastewater"; BUTTLER et al., 1982, ed. University of Surrey Print Unit. Surrey, U.K.
- [65] VENKOBACHAR C., IYENGAR L., PRABHAKARA RAO A.V.S
Mechanism of disinfection.
Water res., 1975, 9 : 119 - 124
- [66] WHITE G.C.
Désinfection des eaux potables - Pratiques et méthodes.
Edition Cifec réf. 177
- [67] ZHANG C., LI P., WANG Z.,
A preliminary study of the virus contamination in tapwater.
J. Environ. Sci. (China), 5 : 29 - 33
- [68] ZMIROU D., FERLEY J.P., CHARREL M., COLLIN J.F.
Etude épidémiologique des effets sur la santé, de la consommation d'eaux non conformes aux normes bactériologiques.
CAREPS, 1984, Faculté de Médecine de Grenoble , 86 p.



AUTORISATION D'IMPRESSION
ET DE
SOUTENANCE

De la Thèse dont l'intitulé est :

La désinfection par le chlore des eaux destinées à la
consommation humaine : intérêts et limites de cette pratique.
Bilan d'une enquête effectuée dans le département
de l'Isère.

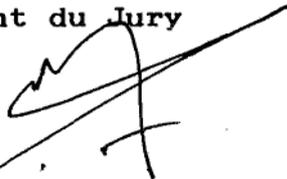
CANDIDAT : M^{elle} LE GULLUDEC Christelo

Vu

GRENOBLE, le

21 JUIN 1995

Le Président du Jury

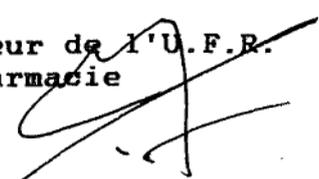

Pr. J. ROCHAT

Vu

GRENOBLE, le 21 JUIN 1995

P/ Le Président de l'Université
Joseph FOURIER - GRENOBLE I
Sciences. Technologie. Médecine

Le Directeur de l'U.F.R.
Pharmacie


J. ROCHAT



